

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Диссертационный совет Д.05.11.030**

На правах рукописи  
УДК 621.31

**БРЯКИН ИВАН ВАСИЛЬЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ПРЕЦИЗИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И  
УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ  
КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ**

Специальность: 05.13.05  
«Элементы и устройства вычислительной техники и  
систем управления»

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

**Бишкек – 2013**

Работа выполнена в Институте автоматики и информационных технологий Национальной академии наук Кыргызской Республики.

**Научный консультант:** академик НАН КР,  
заслуженный деятель науки  
**Шаршеналиев Ж. Ш.**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук,  
профессор **Бекбаев А.Б.**  
  
доктор технических наук,  
с.н.с. **Пресняков К.А.**  
  
доктор технических наук,  
с.н.с. **Шамсутдинов М.М.**

**Ведущая организация:** Кыргызско-Российский Славянский  
Университет имени Б.Н. Ельцина

Защита состоится «26» апреля 2013 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д.05.11.030 при Институте автоматики и информационных технологий НАН КР по адресу: 720071, г. Бишкек, пр. Мира 265.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национальной академии наук КР.

Автореферат разослан «26» марта 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
д.т.н., доцент

**Миркин Е.Л.**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Современные автоматизированные системы контроля и управления (АСКУ) различными технологическими и физическими процессами характеризуются широким использованием первичных средств сбора и обработки информации.

Вариант обобщенной структурной блок-схемы подобной АСКУ представлен на рис. 1.

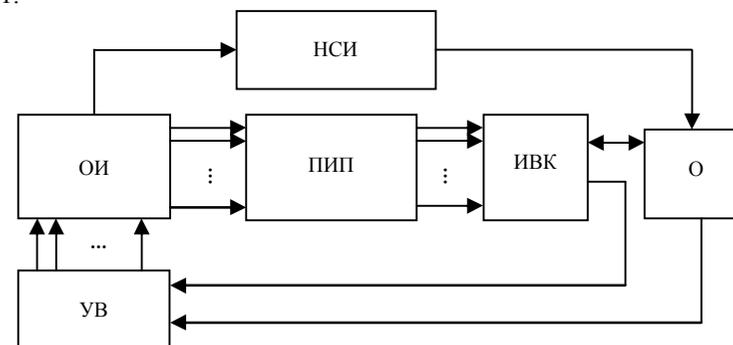


Рис. 1. Обобщенная структурная блок-схема АСКУ.

НСИ – неавтоматизированные средства измерения; ПИП – первичные измерительные преобразователи; ИВК – измерительно-вычислительный комплекс; ОИ – объект исследования; УВ – устройства воздействия на объект; О – оператор.

Важнейшими первичными средствами сбора и обработки информации являются ПИП (датчики), которые, являясь необходимыми звеньями АСКУ, практически полностью определяют ее метрологические характеристики. Потери в точности и надежности конечного результата, связанные с неудачным применением датчика, не способна восстановить самая совершенная система преобразования информации.

Необходимым автоматизированным средством измерений АСКУ является ИВК, выполняющий функции измерений электрических величин, управления процессом измерений и воздействия на объект измерений, а также представления оператору результатов измерений в заданной форме.

Совокупность таких функциональных подсистем АСКУ, как датчики и ИВК, практически образуют информационно-измерительную систему (ИИС).

Важные теоретические и прикладные вопросы по проблемам разработки АСКУ представлены в работах А.А. Фельдбаума, Е.П. Попова, Я.З. Цыпкина, а также в работах ученых Кыргызской школы по элементам и устройствам автоматизированных систем контроля и управления Ж.Ш. Шаршеналиева, Э.Э. Маковского, А.М. Цыкунова и ряда других авторов.

Повышение качества выпускаемой продукции, создание и внедрение в производство принципиально новых объектов техники, материалов и передовой технологии всегда остаются важнейшими задачами. Эффективное решение этих

задач неразрывно связано с разработкой новых принципов построения датчиков с использованием разнообразных физических эффектов, а также с созданием современных ИВК, как универсального ядра ИИС различного функционального назначения.

**Связь темы диссертации с крупными научными проектами и основными научно-исследовательскими работами.** Диссертация выполнена в рамках НИР «Разработка комплекса технических средств для задач малоглубинной геофизики» по утвержденному Президиумом НАН КР проекту «Разработка систем дистанционного мониторинга состояния антропогенно-техногенных процессов экзотехносферы» (2012 – 2013 гг.); в рамках НИР «Оценка динамики состояния инженерных сооружений (плотин) в горных условиях и разработка методов моделирования механики конструкционных материалов» по Договору между НИЦ «Перспективные технологии и материалы» и Департаментом науки, инноваций и НТИ КР (2010 – 2012 гг.); в рамках НИР «Разработка информационно-измерительной системы для исследований электромагнитных предвестников землетрясений» по утвержденному Президиумом НАН КР проекту «Разработка магнитовариационной станции и проведение геомагнитного мониторинга с целью оперативного прогноза землетрясений» (2009 - 2011 гг.); в рамках НИР «Разработка датчиковой аппаратуры для мониторинга состояния геосреды» по утвержденному Президиумом НАН КР проекту «Разработка информационно-телекоммуникационной системы оповещения и мониторинга состояния физических объектов и процессов» (2006 – 2008 гг.); в рамках НИР «Разработка комплекса технических средств для исследований источников электромагнитных возмущений» по утвержденному Президиумом НАН КР проекту «Разработка принципов построения, методов синтеза и создания информационных систем для целей управления и исследования источников электромагнитных возмущений» (2005-2007 гг.); в рамках НИР по утвержденному Президиумом НАН КР проекту «Разработка теории, компьютерных и аппаратных средств автоматизации и информатизации управления, обнаружения и идентификации технических объектов» (2002-2004 гг.).

**Цель работы.** Целью исследования является повышение качества АСКУ, за счет улучшения показателей назначения, надежности и экономичности путем совершенствования структурных единиц ее агрегатных средств, выполняющих измерительные, информационные и управляющие функции.

**Решаемые задачи:**

- анализ свойств и особенностей режимов функционирования магнитометрических измерительных средств (ИС);
- разработка методов повышения метрологических характеристик ИС;
- выбор и обоснование принципов построения соответствующих ИС;
- разработка схемотехнических и конструктивных решений для практической реализации принципов построения ИС;
- создание макетных и экспериментальных образцов ИС;
- апробация результатов научных исследований и разработок в условиях стендовых испытаний и реальных условиях эксплуатации.

**Методы исследований.** Принципы построения и структурные схемы средств измерения были получены на основе методов топологического синтеза активных электрических цепей и статистического структурного синтеза оптимальных измерительных преобразователей, идей и концепций современной теории радиотехнической электродинамики и волновых процессов; элементов теории магнитоупругих волн, теории статистических измерений вероятностных характеристик случайных процессов, принципов инвариантности измерений и теории редукиции. Технические характеристики предлагаемых средств измерений исследованы по методике, основанной на дисперсионном однофакторном анализе. Правильность схемотехнических и конструктивных решений проверялась соответствующими лабораторными и натурными испытаниями на специально разработанных для этих целей магнитометрической и виброметрической экспериментальных установках.

**Научная новизна.** Впервые поставлена и успешно решена задача создания нового класса универсальных магнитометрических преобразователей с улучшенными техническими характеристиками и расширенными функциональными возможностями.

Научные результаты работы:

- 1) осуществлен анализ особенностей режимов функционирования устройств с ферромагнитными элементами;
- 2) обоснован новый способ стабилизации характеристик феррозондов;
- 3) обоснован новый способ возбуждения ферромодуляционных датчиков и предложен оригинальный вариант конструкции модулятора для феррозондов;
- 4) обоснован новый принцип построения феррозондовых магнитометров;
- 5) обоснован новый принцип построения феррозондовых дефектоскопов с парафазным возбуждением;
- 6) обоснован новый принцип построения вибродатчиков («ферровиброметров»);
- 7) обоснован новый принцип построения устройства дистанционного зондирования, основанный на эффекте «магнитной линзы»;
- 8) обоснованы три новых принципа построения сейсмодатчиков («ферросейсмометров») и предложены оригинальные варианты их конструктивного решения;
- 9) предложен способ ориентации объектов в пространстве по геомагнитному полю;
- 10) обоснован принцип построения универсальной системы магнитометрического мониторинга.

Полученные научные результаты существенно расширяют область магнитометрических преобразователей, определяют направление и перспективы их развития.

**Практическая ценность:**

1. Разработан и изготовлен экспериментальный образец феррозондового магнитометра.
2. Разработан и изготовлен макетный образец феррозондового дефектоскопа.

3. Разработаны и изготовлены экспериментальные образцы вибродатчика и сейсмоприемника.

4. Разработан и изготовлен экспериментальный образец устройства дистанционного зондирования.

5. Разработаны и изготовлены основные функциональные узлы системы геомагнитного позиционирования.

6. Разработаны и изготовлены основные функциональные узлы системы магнитометрического мониторинга.

Созданные новые магнитометрические средства и системы могут быть эффективно использованы для решения разноплановых задач в сфере дефектоскопии, вибродиагностики, дистанционного зондирования, инженерной геофизики, магнитного позиционирования (навигация и ориентация объектов).

Отдельные варианты созданных макетных образцов измерительных датчиков, устройств и технических систем были переданы для внедрения и дальнейшей эксплуатации заказчикам, что подтверждено соответствующими 8-ью актами передачи.

#### **Экономическая значимость полученных результатов:**

1. Разработанный вариант феррозондового магнитометра может быть эффективно использован для проведения прецизионных измерений компонент вектора (H и Z) геомагнитного поля T и параметров постоянных магнитных полей, включая их вариации, а также для регистрации электромагнитных полей различного происхождения. Применение такого феррозондового магнитометра позволит решить большой круг задач, связанных не только с разведочной (нефтегазовая, рудная и др.), но и с инженерной геофизикой (инженерно-геологическая, техническая и др.).

2. Применения нового типа феррозондового дефектоскопа существенно расширит круг решаемых задач в дефектоскопии: контроль степени намагниченности изделий и статического экранирования; выявления ферромагнитных примесей; определение градиента поля, толщины неферромагнитных сплавов и стенок изделий из ферромагнитных материалов, коэрцитивной силы и магнитной анизотропии листов, толщины; локальное измерение твердости и выявление нарушения сплошности материала.

3. Разработанные варианты вибродатчиков («ферровиброметра») могут быть использованы в качестве базовых вариантов при разработке универсальных датчиков линейных и угловых перемещений, крутящего момента и ускорения, для диагностирования состояния машин и оценки степени опасности повреждения на основе данных контроля вибрации, что, в конечном счете, существенно повышает надежность оборудования в целом. Потенциальная многофункциональность «ферровиброметра» позволит не только существенно расширить область применения виброакустической диагностики и повысить ее эффективность, но и легко адаптировать для решения многих задач сейсморазведки, используя их как акселерометры в качестве новой альтернативы традиционным геофонам.

4. Разработанный образец индукционной установки для дистанционного зондирования может найти широкое применение в качестве: металлодетектора в аэропортах, на железнодорожных вокзалах, на таможенных терминалах, в службах

охраны и безопасности, в частях и подразделениях министерства обороны и МЧС; средства диагностики для мониторинга состояния железнодорожных путей, ответственных узлов грузоподъемных машин и механизмов, объектов котлонадзора; поискового средства при проведении соответствующих работ городскими техническими и аварийно-спасательными службами.

5. Разработанные образцы сейсмодатчиков («ферросейсмометры») могут найти применение в системах мониторинга состояния зон тектонических нарушений, а также в спектральной сейсморазведке для получения важнейшей геологической и инженерно-геологической информации, являющейся ключевой для прогнозирования техногенных катастроф, что очень своевременно, учитывая растущую их вероятность и состояние экологии.

Различные модификации рассматриваемых «ферросейсмометров» легко адаптируются для решения многих задач инженерной геофизики, в том числе и для исследования различных геофизических процессов, вызываемых природными эндогенными и экзогенными факторами.

6. Разработанная система магнитометрического позиционирования является прецизионным нуль-индикатором, с помощью которого можно довольно точно измерять компоненты геомагнитного поля, проводить работы, связанные с определением магнитной девиации, создаваемой различными подвижными объектами. Обладая высокой чувствительностью и острой диаграммой направленности, магнитометр может быть использован также в следящих системах, обеспечивающих ориентацию тех или иных объектов по магнитному полю.

7. Использование разработанной системы магнитометрического мониторинга позволит решить две основных задачи: реализацию региональных работ по изучению глубинного строения Земли и организацию мониторинга тектонических процессов с целью предсказания природных катастроф (землетрясений, извержений вулканов и др.). Комплексная информация (количественная и качественная), получаемая при проведении такого геомагнитного мониторинга, будет объективно отражать динамику природных процессов, влияние антропогенно-техногенного фактора при освоении природных ресурсов, и при создании крупных технических сооружений в зонах активных геодинамических напряжений.

Применение указанных выше разработанных образцов ИС в составе АСКУ и геофизических ИИС в качестве измерительного компонента существенно повысит эффективность решения стоящих перед ними задач в целом.

**Реализация результатов работы.** Результаты диссертационной работы были использованы при создании экспериментального варианта ИВК для гидрогеологических и инженерно-геологических исследований (заказчик ОсОО «Эко-Базис», 2013 г.); экспериментальному образцу технического средства подповерхностного зондирования (заказчик ОсОО «Эко-Базис», 2011 г.); экспериментального образца учебного лабораторного стенда для исследований электромагнитных волн «УЛС-1ЭВ» (заказчик КРСУ, 2007 г.); беспроводной системы безопасности и сигнализации (заказчик ОсОО «Энергоргазресурс», 2007 г.); беспроводной системы охранно-пожарной сигнализации (заказчик ОсОО

«Аска», 2005 г.); комплекса технических средств контроля параметров процесса акустической сушки древесины «КТСК-1АС» в сушильных камерах туннельного типа (заказчик ОсОО «Лада», 2005 г.); специализированного электрооборудования для системы горячего водоснабжения (заказчик ОсОО «Аска», 2004 г.); системы электроотопления (заказчик ОсОО «Аска», 2003 г.).

Созданные средства контроля, измерения и управления могут быть использованы в качестве технической базы АСКУ, ориентированной на организацию мониторинга параметров физико-технологических процессов в различных отраслях науки и промышленности.

#### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту.**

1. Способ стабилизации характеристик феррозондов, основанный на управлении акустическим полем движением доменных границ.

2. Способ повышения точности измерений, основанный на развитии методов редукции и принципов инвариантности.

3. Способ возбуждения феррозондов, основанный на эффекте С-антенн.

4. Конструкция модулятора для феррозондов.

5. Принцип построения феррозондового магнитометра, основанный на эффекте модуляции спинового магнитного поля постоянного магнита.

6. Принцип построения феррозондового дефектоскопа, основанный на парафазном возбуждении.

7. Принципы построения «ферровиброметров», основанные на эффекте магнитомодуляционной э.д.с.

8. Принцип построения устройства дистанционного зондирования, основанный на эффекте «магнитной линзы».

9. Принцип построения «ферросейсмометра», основанный на ориентации по естественным или искусственным магнитным аномалиям.

10. Принцип построения «ферросейсмометра», основанный на вторичном ориентационном электромагнитном возмущении.

11. Принцип построения «ферросейсмометра» основанный на ориентационном зондировании.

12. Способ ориентации объектов в пространстве, основанный на регулярной прецессии феррозонда в фоновом геомагнитном поле.

13. Принцип построения универсальной системы магнитометрического мониторинга.

14. Схемотехнические и конструктивные решения, реализующие разработанные принципы построения ИС.

**Личный вклад соискателя.** Результаты диссертационной работы опубликованы в соавторстве в 11 научных трудах. Личное творческое участие в совместных работ в среднем составляет 50 – 80% от всего объема реализованного творческого потенциала и заключается в основном в разработке идеи (концепции), выработке основных методов и средств практического решения поставленных задач.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы представлялись на международной конференции «Проблемы управления и информационных технологий» (Бишкек, 2007 г.); на международной конференции

«Современные проблемы математики, информатики и управления» (Алматы, 2008 г.); на международной научно-практической конференции «Информационно-инновационные технологии: Интеграция науки, образования и бизнеса» (Алматы, 2008 г.); на первой Российской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (УКИ-08) (Москва, ИПУ РАН, 2008 г.); на «Четвертой Международной конференции по проблемам управления» (МКПУ-IV) (Москва, ИПУ РАН, 2009 г.); на международной конференции «Проблемы управления и информационных технологий» (Бишкек, 2010 г.); на второй Российской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (УКИ-10) (Москва, ИПУ РАН, 2010 г.); на третьей Российской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (УКИ-12) (Москва, ИПУ РАН, 2012 г.); неоднократно докладывались и обсуждались на заседаниях Ученого совета и научных семинарах Института автоматизации и информационных технологий Национальной академии наук Кыргызской Республики.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 37 работ, в том числе 1 монография, 20 статей, 11 докладов и 4 тезиса конференций, 1 авторское свидетельство.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, восьми глав, заключения, списка использованной литературы из 80 наименований, приложений и включает 254 страницы основного текста, содержит 85 рисунков, 1 таблицу. Общий объем – 301 страница.

Диссертантом выражается искренняя признательность научному консультанту академику НАН КР Ж.Ш. Шаршеналиеву за конструктивные советы и рекомендации, неизменное и доброжелательное внимание к этой работе.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** показана актуальность работы и сформулирована ее цель. Представлена научная новизна и практическая значимость диссертации.

Кратко представлены структура и содержание работы.

**В первой главе** рассматриваются особенности функционирования датчиков на основе ферромагнитных элементов, принципы их возбуждения, эффекты возникновения ложных сигналов и вариант способа снижения их уровня.

Исходя из проведенного анализа процессов взаимодействия акустических волн с магнитоупорядоченными средами, была обоснована возможности использования доменной границы (ДГ) в качестве элемента, регулирующего процессы перемагничивания ферромагнитного образца и канализирующего магнитостатические (спиновые) волны, генерируемые внешним источником.

В этом случае упругое возбуждение магнитоупругой волны в цилиндрическом ферромагнитном стержне феррозонда (ФЗ) осуществляется с помощью пьезоэлектрического преобразователя, закрепленного на торцевой

поверхности образца и возбуждающей в нем линейно поляризованное упругое смещение с частотой подведенного к преобразователю электрического напряжения.

Экспериментальные исследования показали, что при воздействии первичной акустической волны с определенными параметрами на ДГ в условиях соответствующего резонансного режима, необходимого для реализации эффектов магнитоупругого взаимодействия с ДГ, существенно уменьшается уровень и временной дрейф ложного сигнала на выходе ФЗ. В этом случае существенно повышается точность преобразования ФЗ (в  $1,5 \div 2$ ) раза.

**Во второй главе** исследуется и обосновывается возможность нового способа возбуждения ферромодуляционных датчиков, предлагается оригинальный вариант конструкции модулятора на основе С-антенны и новый тип феррозондового магнитометра (ФМ).

Для обоснования возможности применения в качестве элемента накачки С-антенны было предложено рассматривать ферритовый сердечник ФЗ в качестве киральной среды. Исходя из данной интерпретации, был проведен соответствующий анализ физических свойств рабочего вещества модулятора, в результате которого была разработана обобщенная блок-схема нового типа ФМ (рис.2).

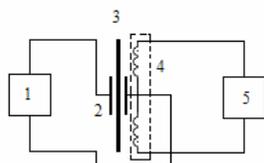


Рис. 2. Обобщенная блок-схема нового типа ФМ.

1 – генератор возбуждения; 2 – элемент накачки; 3 – ферритовые стержни; 4 – приемные элементы; 5 – измерительные преобразователи.

Традиционной схеме возбуждения ФМ, основанной на использовании магнитного диполя (генераторная катушка), предлагается альтернативный вариант модулятора, использующий в качестве элемента накачки электрический диполь (генераторный конденсатор), который с учетом специфики режимов возбуждения можно считать С-антенной.

Структурная блок-схема нового ФМ представлена на рис. 3.

Начальная балансировка нуля дифференциального феррозонда осуществляется в условиях однородности физических свойств окружающей среды путем перемещений катушек 12 и 9 соответственно вдоль стержней 8 и 10 относительно постоянных магнитов 7 и 11.

Данный тип ФЗ функционирует в двух основных режимов работы:

– амплитуда напряженности  $H_m$  выбирается малой, а напряженность  $H_2$  – большой, т.е. выполняется соотношение  $H_m \ll H_2$ , а выходная э.д.с. ФМ  $e_1(t) = 12bswH_0H_2H_m \cos \omega t$ ;

– амплитуду напряженности  $H_m$  выбирают большей по сравнению с напряженностью измеряемого  $H_0$  поля, а напряженность  $H_2$  приравнивают к нулю, т.е. выполняют соотношение  $H_m \gg H_2$  и  $H_2 = 0$ , а  $e_2(t) = 6bswH_0H_m^2 \sin 2\omega t$ .

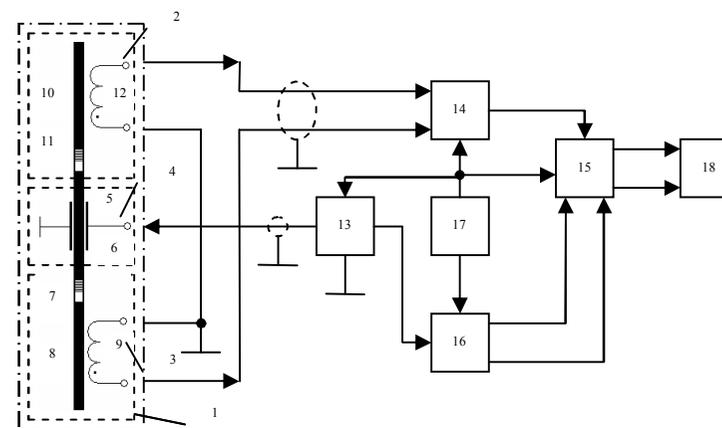


Рис. 3. Структурная блок-схема нового типа ФМ.

1 – трехэлементный дифференциальный феррозонд (ДФ); 2 и 3 – ферроиндукционные преобразователи; 4 – элемент продольного возбуждения (модулятор), 5 – генераторный конденсатор, 6 – ферромагнитный стержень, 7 и 11 – постоянные магниты, 8 и 10 – ферромагнитные стержни, 9 и 12 – приемные катушки; вторичный измерительный преобразователь (ВИП): 13 – генератор, 14 – входной усилитель, 15 – синхронный детектор, 16 – формирователь опорных напряжений, 17 – блок питания, 18 – регистратор.

Таким образом, задавая определенные соотношения между параметрами  $H_m, H_0$  и  $H_2$ , можно реализовывать различные режимы функционирования феррозонда. Это свойство такого типа феррозонда можно эффективно использовать для решения различного класса задач, как по регистрации вариаций геомагнитных полей, так и измерению параметров электромагнитных полей.

Конструкция ФМ представлена на рис. 4

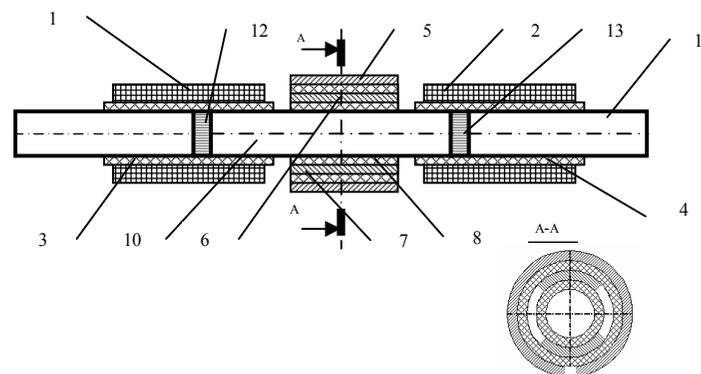


Рис. 4. Конструкция ФМ.

1 и 2 – приемные катушки; 3 и 4 – диэлектрические цилиндрические каркасы; 5 – пассивный электрод модулятора; 6 и 7 – активные полуцилиндрические электроды модулятора; 8 – диэлектрический каркас; 9, 10 и 11 – ферритовые цилиндрические стержнями; 12 и 13 – постоянные магниты.

Ориентируя соответствующим образом датчик в пространстве относительно начальных координат, можно измерить и величину  $Z$ -компоненты суммарного вектора  $T$  геомагнитного поля (ГП). При этом,  $H$  и  $Z$ -компоненты вектора  $T$  ГП в рассматриваемой интерпретации эксперимента образуют соответствующие оси базовой системы координат.

Применение двух ФМ рассматриваемой конструкции, расположенных в пространстве ортогонально относительно друг друга и сориентированных соответствующим образом относительно базовой системы координат, позволит определить модуль вектора  $T$  и его положение в пространстве.

**В третьей главе** анализируются задачи дефектоскопии и особенности работы феррозондовых дефектоскопов (ФД), обосновывается новый тип ФД с парафазным возбуждением.

Своевременное обнаружение дефектов в ответственных деталях технических изделий различного назначения положительно влияет на их надежность, что снижает расходы, связанные с отказами и авариями, и повышает эксплуатационную безопасность.

В предлагаемом варианте феррозондового дефектоскопа (ФД) в качестве элемента «накачки» применена система двух излучающих резонансных антенн, представляющих собой конденсаторы с сосредоточенными емкостями (С-антенны), возбуждаемые с помощью длинной линии парафазными «напряжениями накачки».

Обобщенная блок-схема такого ФД приведена на рис 5.

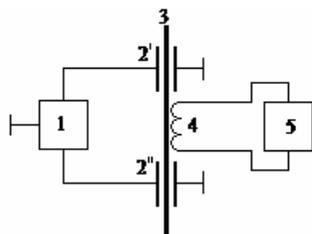


Рис. 5. Обобщенная блок-схема ФД.

1 – генератор возбуждения парафазных сигналов («напряжение накачки»); 2' и 2'' – элементы накачки (С-антенны); 3 – ферритовый стержень (киральная среда); 4 – приемный элемент; 5 – измерительный преобразователь.

Структурная блок-схема предлагаемого варианта ФД представлена на рис. 6 и состоит из следующих функциональных блоков: магнитометрического датчика (МД) – 1, генератора возбуждения (ГВ), ПИП и ВИП.

Процесс продольного возбуждения («накачка») ферромагнитных стержней 2 и 3 осуществляется посредством модуляторов 5 и 6, представляющих собой секционные тонкостенные полуцилиндрические конденсаторы (электрические диполи).

При питании модуляторов парафазными напряжениями в структуре составной магнитной антенны происходит взаимная компенсация трансформаторных э.д.с., что в конечном счете обеспечивает отсутствие сигнала на выходе приемной катушки, а также и нормальное функционирование феррозонда в режиме полемера.

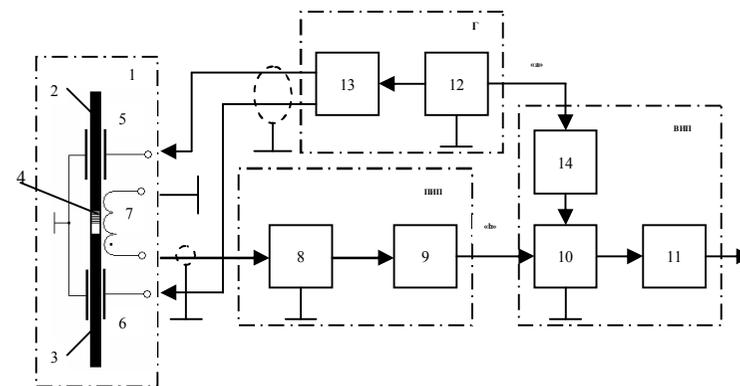


Рис. 6. Обобщенная блок-схема ФД.

МД: 2 и 3 – ферромагнитные стержни, 4 – постоянный магнит, 5 и 6 – модуляторы, 7 – индукционный преобразователь; ПИП: 8 – входной модуль, 9 – селективный усилитель; ВИП: 10 – синхронный детектор, 11 – буферный усилитель, 14 – формирователь опорного напряжения; ГВ: 12 – генератор синусоидального напряжения, 13 – формирователь парафазных синусоидальных напряжений.

На рис. 7 представлена конструкция магнитометрического датчика ФД.

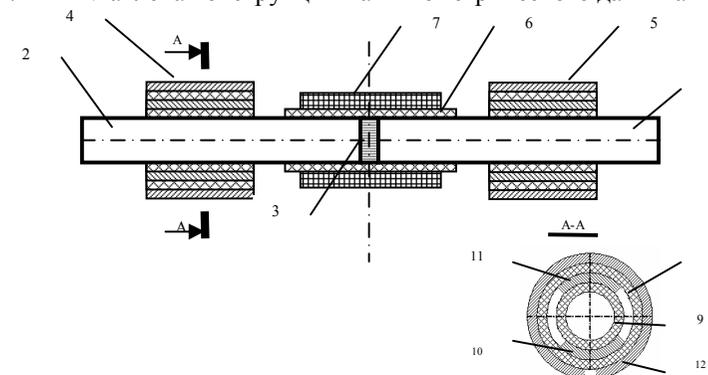


Рис. 7. Конструкция магнитометрического датчика ФД.

1 и 2 – магниточувствительные полуэлементы; 3 – постоянный магнит; 4 и 5 – секционные конденсаторы; 8 – диэлектрический цилиндр, 9 – диэлектрическое основание, 10 и 11 – металлические электроды, 12 – разрезной металлический цилиндр (заземленный электрод); 6 – диэлектрический цилиндрический каркас; 7 – приемная многослойная катушка в виде соленоида.

При возникновении вариаций фонового магнитного поля, связанного с полями рассеивания от дефектов в структуре контролируемого объекта, на выходе индукционного контура появятся соответствующие вариации информационного сигнала, которые после первичной обработки поступают в канал вторичного преобразования измерительного канала ФД.

Если ФД настроить на фоновое магнитное поле какого-либо работающего

технического агрегата, то любая нештатная ситуация, возникшая в процессе его эксплуатации, скажется в изменении исходного фонового магнитного поля. Анализируя изменения параметров выходного сигнала ФД, можно будет определить функциональный элемент, вышедший из строя, и причину возникновения аварийной ситуации.

**В четвертой главе** исследуются вибрационные помехи в магнитоприемниках, обосновывается новый принцип построения вибродатчиков, которые, в определенном смысле, являются перспективной альтернативой традиционным геофонам, применяемым в вибродиагностике.

Одним из важнейших функциональных узлов виброизмерительной аппаратуры являются преобразователи абсолютной вибрации (вибродатчики), технические характеристики которых в основном и определяют эффективность существующих систем вибродиагностики.

Исходя из свойств магнитоприемников и особенностей режимов возбуждения ферромодуляционных преобразователей (ФМП), был разработан новый тип преобразователей вибрации, предназначенных для решения задач вибродиагностики. В этом случае, такой недостаток магнитоприемников, как повышенная чувствительность к вибропомехам, при использовании ФМП в качестве вибродатчика становится их достоинством.

Конструкция первого (а - градиентомера) и второго (б - полемера) вариантов ферромодуляционного вибродатчика (ФМВД) представлена на рис. 8.

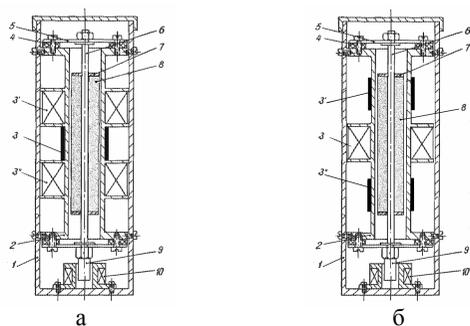


Рис. 8. Конструкции двух вариантов ФМВД

1 – корпус вибродатчика; 2 – диэлектрический каркас; 3' и 3'' – неподвижные катушки (элементы возбуждения); 3 – элемент возбуждения (измерительная катушка); 4 – вкладыши; 5 – плоские пружины; 6 – диэлектрический стержень; 7 – упорные кольца; 8 – ферритовая втулка (инертная масса); 9 – шток демпфера; 10 – демфирующее устройство.

В основе работы первого варианта рассматриваемого ФМВД, работающего в режиме градиентомера (рис. 8, а), лежат два физических явления: процессы возникновения трансформаторной и магнитомодуляционной э.д.с.

Для рассматриваемого типа ФМВД амплитуду напряженности  $H_m$  выбираем большей по сравнению с напряженностью общего фонового  $H_0$  поля. Тогда, при наличии подмагничивающего поля  $H_\delta$ , на выходе ФМВД появляется э.д.с. удвоенной частоты, а для суммарной э.д.с на выходе ФМВД можем записать:

$$E = 6bsw \times H_\delta \times (H_m^2 \sin 2\omega t) + A_T \sqrt{1+k^2} \times \sin(k\omega t + \arctgk)$$

или

$$E = A_M + A_T \sqrt{1+k^2} \times \sin(k\omega t + \arctgk),$$

где  $A_M$  и  $A_T$  – соответственно магнитомодуляционная и трансформаторная э.д.с.

Исходя из проведенного анализа особенностей функционирования ФМВД был разработан вариант виброреєистратора на базе ФМВД, структурная блок-схема которого представлена на рис. 9.

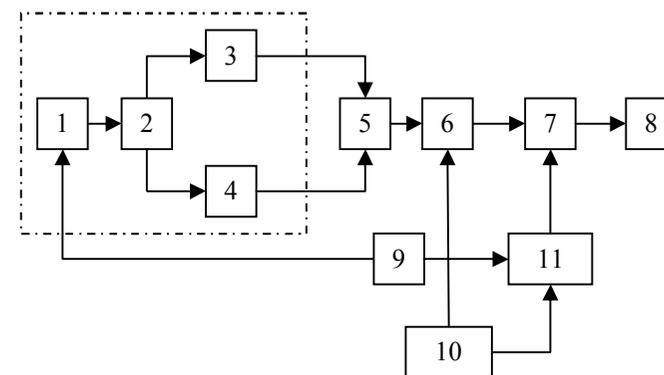


Рис. 9. Структурная блок-схема виброреєистратора.

1 – модулятор; 2 – чувствительный элемент (ферритовая втулка); 3 и 4 – приемные катушки; 5 – сумматор; 6 – избирательный усилитель, 7 – синхронный детектор; 8 – блок регистрирующей аппаратуры; 9 – опорный генератор; 10 – блок управления.

При симметричном положении подвижной ферритовой втулки 2 и расположении продольной оси ФМВД перпендикулярно плоскости магнитного меридиана сигнал на выходе сумматора 5 будет равен нулю.

Амплитуда модулированного сигнала определяется либо величиной смещения инертной массы относительно нейтрального положения, а его фаза – направлением этого смещения, либо величиной локального искажения фонового магнитного поля, определяемого теми или иными качественными показателями контролируемого технологического объекта.

Основным преимуществом виброприемников с преобразователями такого типа является возможность одновременной регистрации смещений инертной массы и возникающих локальных искажений фонового магнитного поля, а, следовательно, при соответствующих параметрах механической системы и регистрации вибраций.

Для второго варианта ФМВД, функционирующего в режиме полемера и использующего эффект парафазного возбуждения ФМП (рис. 8, б), для э.д.с. измерительной катушки было получено следующее соотношение:

$$E = 6bsw \times (H_0 \cos \alpha) \times (H_m^2 \sin 2\omega t) + A_T \sqrt{1+k^2} \times \sin(k\omega t + \arctgk)$$

$$E = A_M \times \cos \alpha \times \sin 2\omega t + A_T \sqrt{1 + k^2} \times \sin(k\omega t + \arctg k),$$

где  $A_M$  и  $A_T$  – соответственно магнитомодуляционная и трансформаторная э.д.с.;  $\alpha$  – угол отклонения продольной оси ФМВД относительно своего начального положения в пространстве.

Структурная блок-схема второго варианта виброрегистратора представлена на рис. 10.

В приемной катушке 6 одновременно наводятся парафазные э.д.с., величины которых зависят от питающего напряжения, конструктивных параметров катушки и положения чувствительного элемента 5 (ферритовая втулка). При симметричном положении подвижной ферритовой втулки 5 и расположении продольной оси ФМВД перпендикулярно плоскости магнитного меридиана сигнал на выходе приемной катушки 6 будет равен нулю.

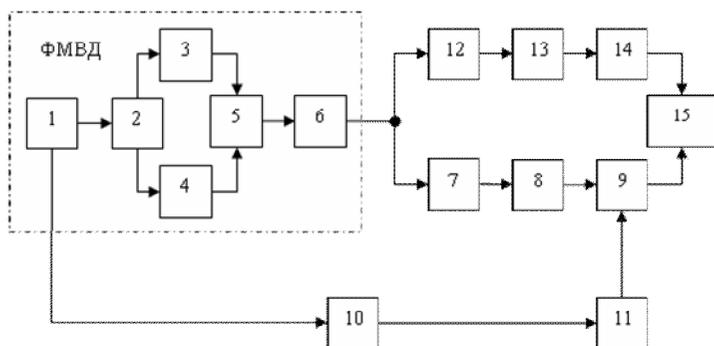


Рис. 10. Структурная блок-схема виброрегистратора.

1 - опорный генератор, 2 формирователь парафазных напряжений; 3 и 4 модуляторы, 5 - чувствительный элемент (ферритовая втулка); 6 - приемная катушка. 7 и 12- буферные усилители; 8 и 13 - избирательные усилители; 9 - синхронный детектор; 10 - фазовращатель; 11 -умножитель; 14 - масштабный усилитель; 15 - блок комплексной обработки информационного сигнала.

При линейном смещении подвижной инертная массы от положения равновесия на выходе приемной катушки 6 появляется электрический сигнал, величина которого соответственно пропорциональна линейному смещению, а фаза – его направлению.

Если продольную ось такого вибродатчика расположить в плоскости, перпендикулярной магнитному меридиану, то при соответствующей отстройке на его выходной обмотке будет отсутствовать магнитомодуляционная э.д.с. В случае возникновения вибраций, вызывающих угловые смещения ФМВД относительно плоскости магнитного меридиана на выходе ФМВД появится магнитомодуляционная э.д.с. удвоенной частоты, величина которой в широких пределах прямо пропорциональна угловым перемещениям.

Основным преимуществом виброприемников с преобразователями такого типа является возможность одновременной регистрации линейных смещений инертной

массы и углового смещения продольной оси ФМВД относительно плоскости магнитного меридиана в широком диапазоне регистрируемых частот, а, следовательно, при соответствующих параметрах механической системы и регистрации вибраций.

**Пятая глава** посвящена вопросам дистанционного зондирования. Для решения существующих вопросов в формате рассматриваемой проблемы обосновывается вариант индукционной установки (ИУ) с новым принципом построения, выгодно отличающегося по своим возможностям от существующих прототипов.

Применяя структурные методы повышения точности, и исходя из принципа инвариантности, было предложено использовать при разработке индукционной установки два асимметричных измерительных канала (ИК).

Функционирование каждого из двух ИК основано на реализации различных физических принципов, что обеспечивает линейную независимость их статических функций преобразования. В этом случае появляется возможность управления сигналом первого ИК режимами функционирования второго ИК.

В первом ИК источник и приемник поля совмещены в одной катушке индуктивности, которая одновременно возбуждает первичное магнитное поле и воспринимает вторичное (или изменения результирующего поля) от геоэлектрической неоднородности вмещающей среды.

Датчиком второго ИК, в рассматриваемом случае, является ферритовая магнитная антенна с двумя приемными катушками, одна из которых условно выполняет функции компенсационной обмотки по случайному сигналу. Конструктивно и функционально магнитную антенну в связи с реализуемыми ею режимами можно считать фактически магнитным усилителем, полем возбуждения которого является вторичное магнитное поле от аномального объекта, а входным управляющим сигналом – выходной сигнал первого ИК.

Первичное поле возбуждает в проводящем аномальном объекте вторичный ток, который в свою очередь создает вторичное поле, которое воздействует на ферритовую магнитную антенну и индуцирует в ее двух приемных катушках соответствующие э.д.с., которые последующими измерительных преобразований во втором ИК трансформируются к виду

$$e_2(t) = 12bswH_\delta H_2 H_1 \cos \omega t,$$

где  $H_\delta$  – напряженность локального фонового магнитного поля, асимметрично воздействующее на приемные катушки;  $H_1 = H_m(t) \cos \beta$  – составляющая внешнего магнитного поля, направленная вдоль продольной оси ферритового стержня;  $H_2 = K_2 U_L(t) = K_2 K_1 H_m(t)$  – напряженность постоянного подмагничивающего поля, создаваемая проходящим через приемные катушки магнитной антенны током управления, формируемым выходным напряжением  $U_L(t)$  первого ИК;  $K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты преобразования соответственно первого и второго ИК.

С учетом сделанных замечаний можем окончательно записать

$$e_2(t) = 12bswK_1 K_2 H_\delta H_m^2(t) \cos \beta \cos \omega t.$$

Из анализа приведенного выражения следует, что использование для

магнитной антенны режима магнитного усилителя, резонансного режима и двух асимметричных ИК создают эффект «магнитной линзы», который существенно повышает чувствительность индукционной установки в целом.

Индукционная установка состоит из индукционного зонда 1; первого и второго измерительных каналов соответственно ИК<sub>1</sub> и ИК<sub>2</sub>; вычислительного блока ВБ (рис.11).

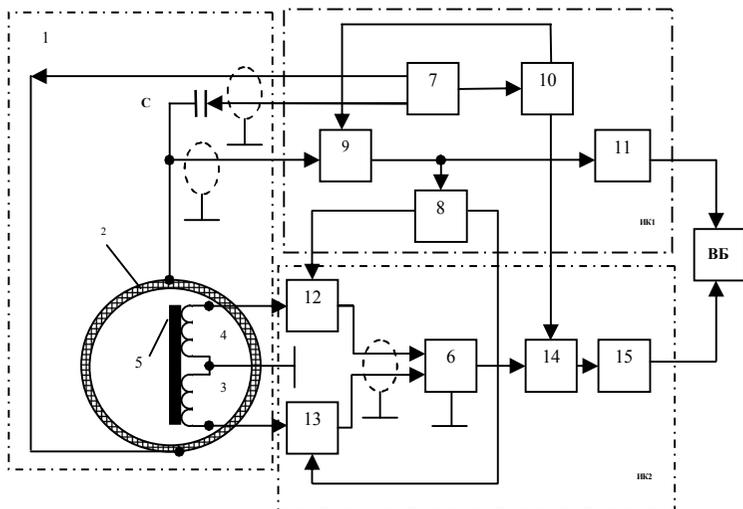


Рис. 11. Структурная блок-схема индукционной установки.

1 - ИЗ; 2 - генераторная катушка; 3 и 4 - приемные катушки, 5 - ферритовый сердечник; ИК<sub>1</sub>: 7 - генератор звуковых частот; 8 - формирователь напряжения управления магнитным усилителем; 9 - синхронный детектор; 10 - формирователь опорных напряжений; 11 - блок вторичной обработки информации; ИК<sub>2</sub>: 6 - блок первичной обработки сигнала; 12 и 13 - буферные блоки формирования токов управления магнитным усилителем; 14 - синхронный детектор; 15 - блок вторичной обработки информации

Генераторная катушка по отношению к приемным катушкам 3 и 4 имеет ортогональное пространственное расположение, что обеспечивает необходимый уровень геометрической компенсации первичного поля.

Удачное сочетание преимуществ различных известных классов индукционных установок и особенностей ферритовых антенн выгодно отличает рассматриваемое техническое решение от его аналогов.

**В шестой главе** обосновываются три новых принципа построения сейсмоприемников, ориентированных на решение задач инженерной геофизики, рассматриваются возможные варианты их конструктивной реализации.

Сформулируем основные принципы их построения: принцип ориентации по естественным или искусственным магнитным аномалиям; принцип вторичного ориентационного электромагнитного возмущения; и принцип ориентационного зондирования.

В качестве базового функционального элемента сейсмоприемника из класса «ферросейсмометры» (ФС), реализующий **принцип ориентации по естественным или искусственным магнитным аномалиям** взят феррозонд

(магнитомодуляционный преобразователь) (рис. 12).

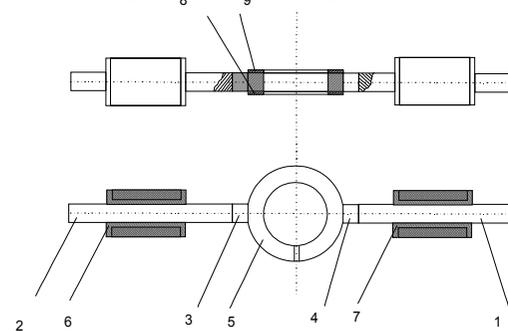


Рис. 12. Базовый функциональный элемент сейсмоприемника.

1 и 2 – два цилиндрических ферритовых стержня (полуэлементы); 5 – кольцевой ферритовый модулятор; 8 и 9 – два разрезных кольцевых электрода из фольгированного стеклотекстолита; 3 и 4 – два цилиндрических магнита; 6 и 7 – приемные катушки.

Специфика конструкции модулятора обеспечивает данному варианту феррозонда исключительно режим градиентометра, обладающего внутренним свойством компенсации фоновых автокоррелированных геомагнитных полей. Такой преобразователь обладает высокой чувствительностью к локальным неоднородностям естественного геомагнитного поля и существенной ориентационной инвариантностью к однородным фоновым магнитным полям.

При выполнении соотношения  $H_m \ll H_0$ , на общем выходе приемных катушек появляется э. д. с.

$$e(t) = 12bswH_0H_DH_m \cos \omega t,$$

где  $H_D$  – разность напряженностей постоянного поля в местах расположения приемных катушек 6 и 7, вызванной наличием естественных неоднородностей в геофизической среде.

Используя данное свойство рассматриваемого феррозонда, расположим его в качестве инертной массы на упругом подвесе, ориентируя соответствующим образом в географической системе координат (рис. 13).

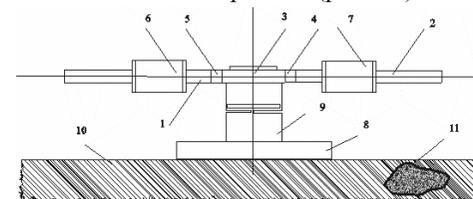


Рис. 13. Сейсмоприемник с упругим подвесом.

1 и 2 – ферритовые стержневые полуэлементы; 3 – кольцевой ферритовый модулятор; 4 и 5 – цилиндрические магниты, 6 и 7 – приемные катушки; 8 – базировочное основание, 10 – геофизической среде; 11 – локальная неоднородность; 9 – упругий подвес.

В этом случае для выходной э.д.с. можем записать:

$$e_1(t) = KH_D^* \cos \omega t + \sum_{k=1}^N \frac{M_k H_D^*}{2} \cos[(\omega + \Omega_k)t + \varphi_k] + \sum_{k=1}^N \frac{M_k H_D^*}{2} \cos[(\omega - \Omega_k)t - \varphi_k].$$

Первое слагаемое приведенного выше выражения является несущим колебанием. Вторая группа гармонических составляющих с частотами  $(\omega + \Omega_k)$  – верхняя боковая полоса частот. Третья группа гармонических составляющих  $(\omega - \Omega_k)$  – нижняя боковая полоса частот.

Таким образом, при осцилляции феррозонда на его выходе появляется разностная э.д.с., величина и спектральный состав которой связаны с параметрами и направлением сейсмоволн, воздействующих на сейсмоприемник.

Рассмотренный вариант ФС, основанный на принципе ориентации по естественным фоновым геомагнитным аномалиям, кроме своего основного назначения может использоваться и для измерений среднего уровня геоакустической эмиссии (ГАЭ).

Особенность данного варианта ФС заключается в том, что базовый функциональный элемент ФС дополнен двумя ферромагнитными полуэлементами 4 и 3, которые объединены с двумя другими ферромагнитными полуэлементами 5 и 6 в единую магнитную систему посредством кольцевого модулятора.

С помощью генераторных рамок 1 и 2, имеющих строго определенное пространственное расположение относительно геометрических осей магнитной системы ФС, создаются определенные фоновые переменные магнитные поля напряженностью соответственно  $H_1(t)$  и  $H_2(t)$  (рис. 14).

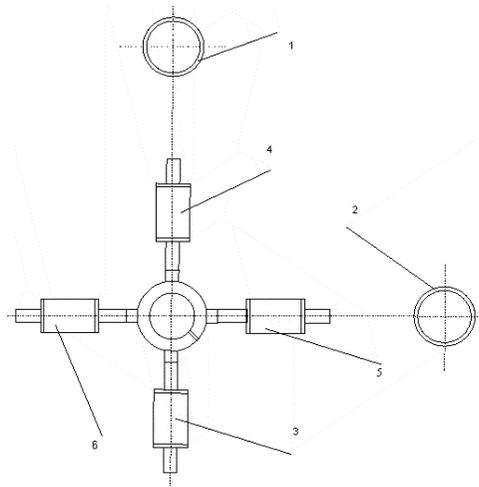


Рис. 14. Система регистрации сдвиговых деформаций.

В связи с тем, что генераторные рамки (магнитные диполи) 1 и 2 расположены в плоскости, ортогональной виткам приемных катушек 3÷6, в исходном состоянии ФС инвариантен к воздействию этих фоновых полей.

При возникновении пространственного смещения магнитной системы ФС относительно генераторных рамок, вызванной сдвиговыми деформациями в покровных образованиях или в результате воздействия сейсмоволн, на выходе ФС возникнет соответствующий электрический сигнал, амплитуда и фаза которого, а также спектральный состав наиболее полно отражают информацию о параметрах поверхностных волн, связанных со структурой геофизической среды.

В этом случае для магнитной системы ФС можем записать:

$$e_i(t) = -2ws \frac{d}{dt} (\mu_D^* B_{0i}) = -2ws \left[ B_{0i}(t) \frac{d\mu_D^*}{dt} + \mu_D^*(t) \frac{dB_{0i}}{dt} \right],$$

где  $B_{0i} = B_0 i_M^0$ ;  $i_M^0$  – магнитная ось феррозонда.

Если  $B_{0i} = B_{0mi} \cos \beta \times \cos \Omega_i t$ , то для вторых гармоник выходных э.д.с. можем получить:

$$e_i(t) = 2ws \mu_{D2}^* B_{0mi} \cos \beta \times (2\omega \cos \Omega_i t \times \sin 2\omega t + \Omega_i \sin \Omega_i t \times \cos 2\omega t),$$

где  $\Omega_i$  – круговая частота измеряемого переменного поля  $H_i(t)$ ;  $\beta$  – угол отклонения магнитной системы ФС от начального пространственного положения относительно генераторных рамок.

Анализ приведенного выше выражения показал, что квадратурная (косинусная) составляющая выходной э.д.с. пропорциональна  $\Omega_i$ , т.е. частоте измеряемого фонового поля, создаваемого соответствующей генераторной рамкой.

Чувствительность данной системы регистрации сейсмоволн к сдвиговым деформациям в покровных образованиях позволяет использовать ее и для решения задач мониторинга состояния оползневых процессов.

Вариант сейсмоприемника в виде ФС, с кольцевыми торсионными маятниками, реализующий принцип **вторичного ориентационного электромагнитного возмущения** (рис. 15).

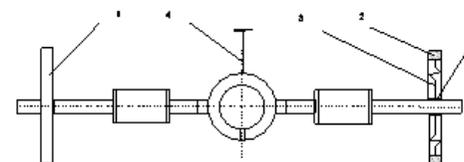


Рис. 15. Ферросейсмометр с кольцевыми торсионными маятниками.

В его структуру в качестве инерционных масс введены два кольцевых чувствительных элемента (ЧЭ) 1 и 2 с механическим упругим подвесом 3. Они как динамически сбалансированные колебательные системы с сосредоточенными параметрами имеют преимущества перед другими типами ЧЭ, поскольку нечувствительны к компонентам угловых ускорений, перпендикулярным к оси вращения. Инерционные элементы 1 и 2 связаны посредством упругих элементов 3 с ферритовым стержнем через переходную диэлектрическую втулку 5. В качестве

упругих элементов применены балочки равных сечений и сопротивлений.

Так как, отношение двух амплитуд отличающихся на период (декремент затухания)  $\Delta = \alpha_{(t)}/\alpha_{(t+T)}$ , а  $\lambda = \ln(A_{(t)}/A_{(t+T)}) = \ln[A_0 e^{-\beta t}/A_0 e^{-\beta(t+T)}] = \beta T$ , то для амплитуды колебаний маятника  $\alpha$  можно записать:

$$\alpha = \alpha_0 e^{-\lambda \frac{t}{T}} \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi\right).$$

Ввиду того, что в рассматриваемом случае  $\alpha$  фактически определяет угол положения  $\theta$  магнитного момента в пространстве, то можем утверждать:

$$H_\theta = -P \frac{\sin \alpha}{r^3}; H_r = 2P \frac{\cos \alpha}{r^2}; E_\varphi = -P \frac{i\omega\mu}{r^2} \sin \alpha.$$

Из анализа последнего выражения следует, что под воздействием сейсмических возмущений возникают осцилляционные процессы ЧЭ, которые приводят к изменениям направлений векторов соответствующих магнитных моментов на угол  $\alpha$  по отношению к подмагничивающему полю  $H_0$ , а соответственно и к появлению разностного сигнала на выходе ФС.

Используя различные наборы высокооборотных резонансных чувствительных элементов в виде колец с соответствующими струнными упругими подвесами, можно создать вариант частотно-избирательной системы (ЧИС) с определенным спектром регистрируемых частот (рис. 16).

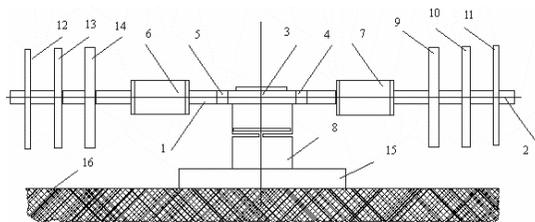


Рис. 16. Частотно-избирательная система.

1, 2 - ферромагнитные полуэлементы; 3 - кольцевой ферритовый модулятор; 4, 5 - цилиндрические магниты; 6, 7 - приемные катушки; 8 - упругий подвес; 9, 10, 11 и 12, 13, 14 - наборы колец ЧЭ с упругим струнным подвесом; 15 - опорное основание, жестко закрепленное на геофизической среде 16.

Каждый из резонансных ЧЭ такой ЧИС настроен на определенную частоту возмущающих воздействий (сейсмоволн или ГАЭ), которые в свою очередь вызывают появление на выходе сейсморегистратора соответствующий информационный спектр напряжений электрических сигналов. Параметры сигналов каждого из спектров характеризуют те или иные свойства исследуемых геофизических явлений или процессов.

Действительно, в самом общем случае скорость колебаний земной поверхности является входным сигналом такой ЧИС, который может быть с достаточной точностью представлен выражением

$$\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^n x_i \cos(\omega_i t + \delta_i).$$

Если рассматривать ЧИС как линейную систему, коэффициент нелинейных искажений которой не должен быть более 0,2%, то сигнал преобразуется ЧИС в выходное напряжение

$$U_{\text{вых}}(t) = \sum_{i=1}^n U_i \cos(\omega_i t + \delta_i + \varphi_i).$$

В этом случае каждый ЧЭ с остальными функциональными узлами ЧИС фактически образует соответствующий измерительный канал, настроенный на определенную частоту сейсмических волн. Выходные сигналы каждого такого измерительного канала разлагаются в ряд Фурье и для каждой  $i$ -й частотной компоненты определяются коэффициент преобразования и фазовый сдвиг  $j$ -го канала:

$$K_{ij} = \frac{\omega_i^2}{\sqrt{(\omega_{0j}^2 - \omega_i^2) + (2\omega_{0j}\beta_j)^2 \omega_i^2}} \times K_{эм} \frac{R_{шj}}{R_{0j} + R_{шj}}; \varphi_{ij} = \frac{2\omega_{0j}\beta_j\omega_i}{\omega_{0j}^2 - \omega_i^2},$$

где  $\omega_0$ ,  $\beta_j$ ,  $K_{эмj}$  - значения параметров сейсмоприемника или группы сейсмоприемников, включенных в  $j$ -й канал.

Вариант конструктивного исполнения сейсмоприемной системы, реализующей принцип ориентационного зондирования (рис. 17).

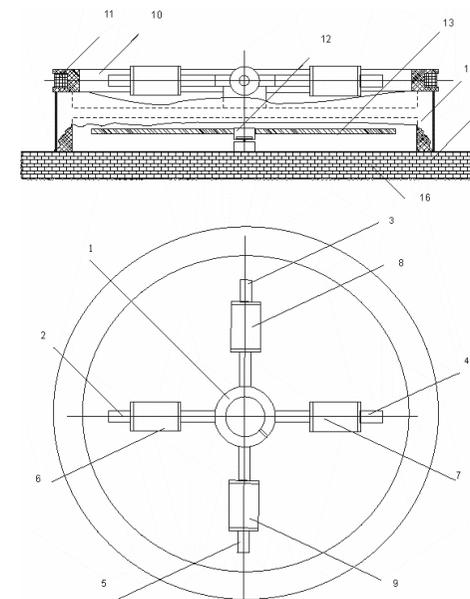


Рис. 17. Сейсмоприемная система.

Рассматриваемая сейсмоприемная система представляет собой совокупность двух функциональных элементов: индукционного зонда, использующего в качестве датчика многоэлементную ферритовую антенну и дискового инерционного элемента.

В состав индукционного зонда (входят: кольцевой ферритовый элемент 1; стержневые цилиндрические ферритовые сердечники 2, 3, 4 и 5; идентичные приемные катушки 6, 7, 8 и 9; генераторная катушка 10 с обмоткой 11. Совокупность элементов 1, 2, ..., 9 индукционного зонда функционально образуют многоэлементную ферромагнитную антенну крестовидной формы. Генераторная катушка 10 и приемные катушки находятся в одной плоскости ортогонально по отношению к друг другу, что обеспечивает необходимый уровень геометрической компенсации первичного поля. В качестве инерционного элемента используется электропроводящее немагнитное подстилающее основание 13 на упругом подвесе 12. Ферромагнитная антенна и генераторная катушка располагаются на неподвижном общем диэлектрическом основании 14, закрепленном на геофизической среде 15.

С учетом того, что наибольшая глубина компенсации приемной катушки достигается при условии  $\tau=1$ , то можем записать:

$$\dot{U} = 0,5(\Delta\dot{E}_n - \Delta\dot{E}_r).$$

Рассмотрим вариант ферромодуляционного акселерометра для систем мониторинга зон тектонических нарушений (рис. 18)

В последние годы для мониторинга состояния зон тектонических нарушений применяется спектральная сейсморазведка, которая представляет собой самостоятельный и надежный метод получения важнейшей геологической и инженерно-геологической информации, являющейся в свою очередь ключевой для прогнозирования техногенных катастроф, что очень своевременно, учитывая растущую их вероятность и состояние экологии

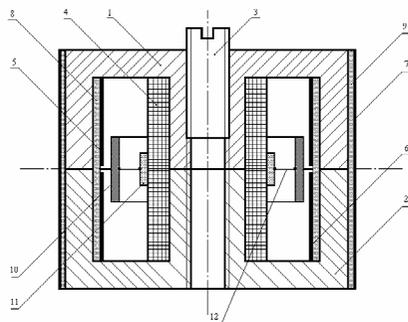


Рис. 18. Конструкция ФА.

1 и 2 – цилиндрические ферритовые полуэлемента (броневой сердечник); 3 – регулировочный сердечник; 4 – неподвижная измерительная катушка; 5 и 6 – активные элементы модулятора; 7 – пассивный элемент модулятора; 8 и 9 – диэлектрические кольца; 10 – кольцевой ЧЭ (инертная масса); 11 и 12 два механических упругих элемента

Инертная масса по своей сути является динамически сбалансированной колебательной системой с сосредоточенными параметрами, имеющей преимущества

перед другими типами ЧЭ, поскольку нечувствительна к компонентам угловых ускорений, перпендикулярным к оси вращения. В качестве упругих элементов применены струнные подвесы из вольфрамовых нитей.

Модуляторы имеют одинаковые конструктивные параметры и электрически возбуждаются парафазными напряжениями.

Данный вариант ФА функционирует в режиме полемера, что определяется в конечном счете его конструктивными особенностями и соответственно реализуемыми физическими процессами.

При наличии подмагничивающего поля, величина которого равна проекции внешнего поля  $H_0$  на продольную ось сердечника, в его выходной обмотке  $w$  индуцируется э.д.с. удвоенной частоты, фаза которой меняется на  $180^0$  при изменении внешнего поля на обратное, а величина э.д.с. удвоенной частоты изменяется в широких пределах прямо пропорционально величине составляющей напряженности внешнего магнитного поля, параллельной продольной оси сердечнику.

Выходная э.д.с. определяется согласно выражению:

$$E = 6bsw \times (H_0 \cos \beta) \times (H_m^2 \sin 2\omega t) + A_T \sqrt{1+k^2} \times \sin(k\omega t + \arctgk)$$

или

$$E = A_M \times \cos \beta \times \sin 2\omega t + A_T \sqrt{1+k^2} \times \sin(k\omega t + \arctgk),$$

где  $A_M$  и  $A_T$  – соответственно магнитомодуляционная и трансформаторная э.д.с.,  $\beta$  – угол отклонения продольной оси ЭА относительно своего начального положения в пространстве.

Если продольную ось такого вибродатчика расположить в плоскости, перпендикулярной магнитному меридиану, то при соответствующей отстройке на его выходной обмотке будет отсутствовать магнитомодуляционная э.д.с. В случае возникновения вибраций, вызывающих угловые смещения ФА относительно плоскости магнитного меридиана на выходе ФА появится магнитомодуляционная э.д.с. удвоенной частоты, величина которой в широких пределах прямо пропорциональна угловым перемещениям.

**В седьмой главе** рассматриваются вопросы навигации и магнитного позиционирования объектов. Для объектов с произвольной установкой начальных координат предложен новый способ ориентации в пространстве по геомагнитному полю.

В качестве примера рассматривается космический аппарат, который при отсутствии внешних сил совершает регулярную прецессию или вращение относительно некоторой оси.

Возьмем систему координат  $X, Y$  и  $Z$ , связанную с находящимся в географической (астрономической) системе координат  $X_G, Y_G, Z_G$  трехкомпонентным магнитометром, и вращающуюся относительно оси  $\Omega$  с угловой скоростью  $\omega$  (рис. 19).

Ось  $\Omega$  неподвижна в пространстве и составляет с осями  $X, Y, Z$  углы  $\alpha_X, \alpha_Y, \alpha_Z$ . Полагаем, что вектор магнитного поля  $T$  также постоянен и неподвижен в

пространстве и составляет угол  $\beta$  с осью  $\Omega$ .

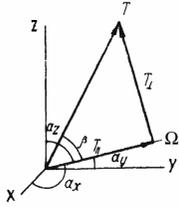


Рис. 19. Система координат трехкомпонентного вращающегося магнитометра.

На выходах каждого из трех феррозондовых датчиков (ФД) будут наблюдаться амплитудно-модулированные сигналы с частотой несущего колебания  $2\omega^*$  и частотой модулирующего колебания  $\omega$ , из которых после соответствующего амплитудного детектирования будут выделяться огибающие несущего сигнала

$$\begin{aligned} U_X &= d_1 \times k_1 \times S_1 \times T \times [\cos \alpha_X \times \cos \beta + \sin \alpha \times \sin \beta \times \cos(\omega t + \varphi_X)]; \\ U_Y &= d_2 \times k_2 \times S_2 \times T \times [\cos \alpha_Y \times \cos \beta + \sin \alpha \times \sin \beta \times \cos(\omega t + \varphi_Y)]; \\ U_Z &= d_3 \times k_3 \times S_3 \times T \times [\cos \alpha_Z \times \cos \beta + \sin \alpha \times \sin \beta \times \cos(\omega t + \varphi_Z)], \end{aligned}$$

где  $d_1, d_2, d_3$  – коэффициенты преобразования соответствующих измерительных каналов электронного блока ФМ.

Три полученные основные уравнения описывающие сигналы с соответствующих выходов трехкомпонентного ФМ, содержат восемь неизвестных переменных ( $T, \beta, \alpha_X, \alpha_Y, \alpha_Z, \varphi_X, \varphi_Y, \varphi_Z$ ) величины которых требуется определить.

Для решения этой проблемы необходимо выполнить условия:  $\alpha_X = \alpha_Y = \alpha_Z = \alpha = \arctg \sqrt{2}$ , совместить соответственно координатные оси двух систем ориентации  $\{X, Y, Z\}$  и  $\{X_G, Y_G, Z_G\}$ , а реализацию регулярной прецессии ФД относительно оси  $\Omega$  следует интерпретировать как некоторое модуляционное тестовое воздействие. В этом случае появится возможность уменьшить количество неизвестных до пяти и дополнить существующую систему из трех уравнениями двумя новыми уравнениями. При таком подходе дополненная система уравнений становится корректной, а ее решение позволит определить фазу и модуль вектора магнитного поля.

В этом случае с помощью одного и того же ФД возможно измерение трех компонент вектора  $T$ . Исходя из этого, выходные напряжения ФД в моменты прохождения его через пространственные позиции, расположенные соответственно на астрономических координатах  $X, Y$  и  $Z$ , представляются следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} U_0 &= d \times k \times S \times T \times [\cos \alpha \times \cos \beta + \sin \alpha \times \sin \beta \times \cos \varphi_X]; \\ U_{120} &= d \times k \times S \times T \times [\cos \alpha \times \cos \beta + \sin \alpha \times \sin \beta \times \cos \varphi_Y]; \\ U_{240} &= d \times k \times S \times T \times [\cos \alpha \times \cos \beta + \sin \alpha \times \sin \beta \times \cos \varphi_Z], \end{aligned}$$

где  $U_0, U_{120}, U_{240}$  – выходные напряжения, поступающие с соответствующей рабочей позиции ФД на регистрирующее устройство.

Определяем  $\beta = \arccos \left[ \sqrt{1 - (a + b + c)^2 \times \cos^2 \alpha \times \text{ctg}^2 \alpha} \right]$  и угловые координаты вектора  $T$

$$\begin{aligned} \varphi_X &= \arccos \left[ a \times \text{ctg} \alpha \times \sqrt{\frac{\text{tg}^2 \alpha}{(a + b + c)^2 \times \cos^2 \alpha} - 1} \right]; \\ \varphi_Y &= \arccos \left[ b \times \text{ctg} \alpha \times \sqrt{\frac{\text{tg}^2 \alpha}{(a + b + c)^2 \times \cos^2 \alpha} - 1} \right]; \\ \varphi_Z &= \arccos \left[ c \times \text{ctg} \alpha \times \sqrt{\frac{\text{tg}^2 \alpha}{(a + b + c)^2 \times \cos^2 \alpha} - 1} \right]. \end{aligned}$$

Тогда модуль вектора  $T$  определится, как

$$\begin{aligned} |T| &= U' / (k \times S \times \cos \alpha \times \cos \beta) = U' / (k \times S \times \cos \alpha \times \sqrt{1 - (a + b + c)^2 \times \cos^2 \alpha \times \text{ctg}^2 \alpha}) \\ &\text{или} \\ |T| &= \frac{U' \times \sqrt{1 - (a + b + c)^2 \times \cos^2 \alpha \times \text{ctg}^2 \alpha}}{[1 - (a + b + c)^2 \times \cos^2 \alpha \times \text{ctg}^2 \alpha] \times \cos \alpha}. \end{aligned}$$

Полученные аналитические выражения являются измерительными алгоритмами, посредством которых определяют параметры исследуемого магнитного поля.

При их ближайшем рассмотрении видно, что необходимые параметры магнитного поля определяются исходя из результатов четырех измерений:  $U_0, U_{120}, U_{240}$  и  $U'$ , а сама структура измерительных алгоритмов является инвариантной к изменениям коэффициентов функции преобразования функциональных узлов ФМ.

Датчик 1 выполнен с возможностью пространственного перемещения через три фиксированных положения, образующих измерительные позиции ФД и совпадающих с географической (астрономической) системой координат  $X_G, Y_G, Z_G$  (рис. 20). Перемещение ФД с одной измерительной позиции на другую осуществляется поворотным устройством 14 с фиксированной угловой частотой  $\omega$ .

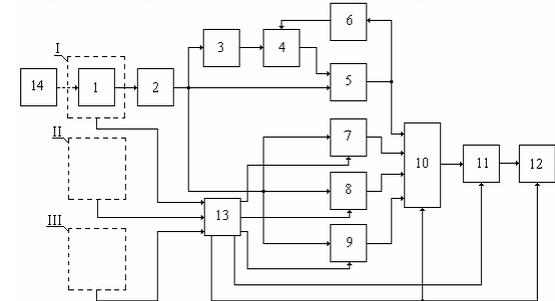


Рис. 20. Блок-схема магнитометра с регулярной прецессией ФД.

1 – ФД; 2 – ВИФ; 3 – дифференцирующее устройство; 4 и 5 – вычитающее устройство; 6 – устройство автоподстройки фазы; 7, 8, и 9 – устройства выборки-хранения; 10 – кодоуправляемый мультиплексор; 11 – стробируемый АЦП; 12 – вычислительный блок; 13 – блок управления; 14 – поворотное устройство.



иерархии разработанных вариантов измерительных систем.

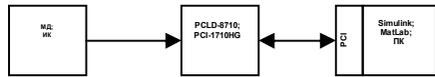


Рис. 22. Блок-схема специализированного варианта ИИС-1.

Это связано с тем, что кроме решения непосредственно исследовательских задач, связанных с мониторингом параметров геологической среды, рассматриваемая структура может использоваться в качестве средства метрологического обеспечения для других специализированных рабочих вариантов ИИС, которое с гарантированной достоверностью обеспечивает информацию об их качественных и количественных характеристиках.

Приведем характерные особенности ИИС-1: измерительный компонент представлен совокупностью магнитометрических датчиков и ИК; связующий компонент представлен монтажным терминалом PCLD-8710, электронной платой PCI-1710HG и стандартным драйвером; информационно-вычислительный компонент представлен в формате приложений Simulink интегрированной среды MatLab и ПК.

На рис. 23 представлена конфигурация рабочего варианта ИИС-2, ориентированного на режим функционирования в формате лабораторной ИИС с однопроводной КЛС или беспроводной ближней связи с ПК, т.е. в условиях научно-исследовательской лаборатории.



Рис. 23. Блок-схема Рабочего варианта ИИС-2

Приведем характерные особенности ИИС-2: измерительный компонент представлен совокупностью магнитометрических датчиков и ИК; связующий компонент представлен микропроцессорным модулем на базе МК AVR, ориентированного на СОМ-порт ПК; информационно-вычислительный компонент представлен в виде библиотек специализированных программ интегрированной среды MatLab и ПК.

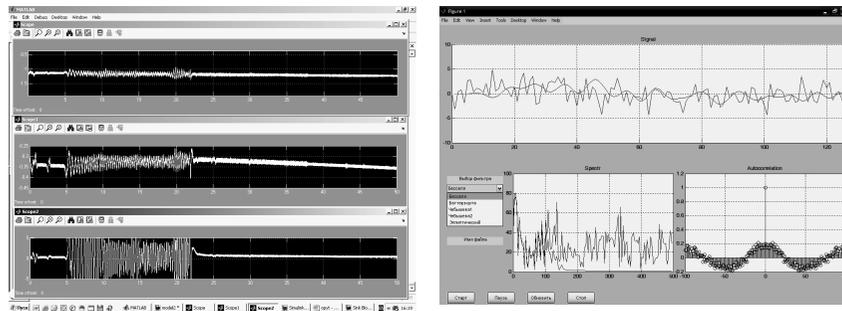


Рис. 24. Примеры визуализации работы ИИС-1 (а) и ИИС-2 (б)

На рис. 25 представлена конфигурация рабочего варианта ИИС-3, ориентированного на режим функционирования в формате локальной ИИС с однопроводной КЛС с ПК, т.е. в условиях частично приближенных к реальной среде нахождения исследуемого объекта.



Рис. 25. Блок-схема рабочего варианта ИИС-3.

Приведем характерные особенности ИИС-3: измерительный компонент представлен совокупностью индукционных магнитометрических датчиков и ИК; связующий компонент представлен микропроцессорным модулем на базе МК AVR, ориентированного на СОМ-порт ПК; информационно-вычислительный компонент представлен в формате ПК и прикладной пользовательской программы на С#, реализующей стандартные алгоритмы обработки измерительных сигналов.

На рис. 26 представлена конфигурация рабочего варианта ИИС-4, ориентированного на режим функционирования в формате региональной ИИС в составе ИИК, т.е. в реальных естественных условиях окружающей среды.



Рис. 26. Блок-схема рабочего варианта ИИС-4,

Приведем характерные особенности ИИС-4: измерительный компонент представлен совокупностью индукционных магнитометрических датчиков и ИК; связующий компонент представлен микропроцессорным модулем на базе МК PIC, ориентированного на USB-порт ПК; информационно-вычислительный компонент представлен в формате ПК и прикладной пользовательской программы на С++, ориентированной на создание библиотеки стандартных пользовательских программ первичной и вторичной обработки сигналов путем соответствующей их компиляции из среды MatLab; взаимодействие программных и аппаратных компонент осуществляется через стандартный драйвер USB HID.

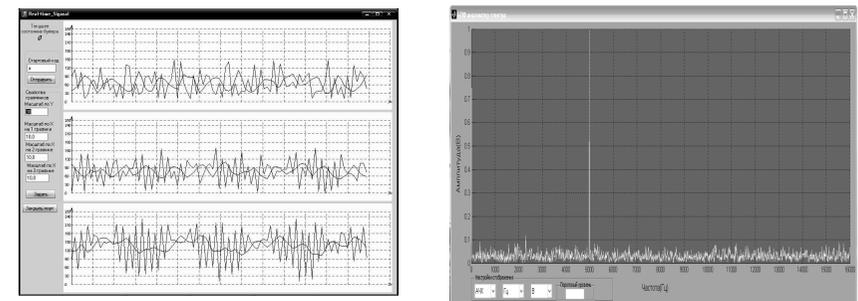


Рис. 27. Примеры визуализации работы ИИС-3 (а) и ИИС-4 (б).

Для каждого такого специализированного варианта ИИС характерны измерительные, управляющие, интерфейсные и обрабатывающие модули, количество которых, их состав, функции и связи между ними устанавливаются в процессе проектирования конкретно для каждого из них. Рассматриваемые варианты ИИС могут применяться как автономно (для измерения параметров движущихся объектов, промышленных установок, внешней среды, биологических и медицинских объектов), так и в составе различных автоматизированных ИИК, создаваемых на основе интеграции измерительной и вычислительной техники.

Таким образом, объединение инструментальных средств MatLab, Simulink, Real-Time Workshop, Real-Time Windows Target на базе универсальной платы PCI1710HG и микропроцессорных комплектов позволяет создавать ИИС различного назначения, в частности, для дистанционного мониторинга состояния геофизических процессов.

**В приложении** представлены дополнительные информационные материалы; принципиальные электрические схемы основных функциональных узлов разрабатываемых технических средств с описанием принципов их работы; примеры листингов программ; выбор и обоснование аппаратно-программных интерфейсов; методика и стенды для реализации экспериментальных исследований; акты передачи разработанных измерительных средств организациям-заказчикам.

## ВЫВОДЫ

Материалы диссертационной работы в целом представляют собой реализацию новой концепции построения магнитометрических датчиков, объединенных новым «емкостным» способом возбуждения и образующих новый класс ФМ с магнитным модулятором на основе С-антенны.

Новый способ возбуждения феррозондовых датчиков, разработанные оригинальные конструкции магнитных модуляторов и соответствующие схемотехнические решения значительно улучшают основные характеристики магнитометрических приборов и существенно расширяют их области применения.

Сравнительный анализ нового класса феррозондовых преобразователей на основе магнитного модулятора в виде С-антенны с существующими прототипами подтвердил возможность их эффективного применения в качестве датчиков электрических и неэлектрических величин.

Разработанный принцип построения для датчиков различного назначения, основанный на новом физическом эффекте (косвенное возбуждение магнитного поля), обеспечивает технологичность их изготовления, простоту конструктивных решений, надежность, высокую чувствительность датчиков, что позволяет измерять не только общепринятый набор диагностических параметров, в частности, вибрации, но и относительно слабые электромагнитные поля рассеяния, несущие важную информацию о техническом состоянии контролируемого объекта.

На основе нового класса ферромагнитных преобразователей построены высокоточные датчики перемещения, скорости, вибрационных ускорений; универсальные измерители слабых электромагнитных и постоянных магнитных полей; эффективные средства обнаружения и идентификации подповерхностных

объектов; системы магнитного позиционирования и навигации; комплекс технических средств для задач дефектоскопии и инженерной геофизики.

Приведенные в работе результаты исследований в области разработок ФМ представляют собой совокупность оригинальных идей, воплощенных в конкретных новых конструктивных решениях и созданных экспериментальных образцах, на которых в дальнейшем могут базироваться технологии получения измерительной информации, и которые будут востребованными не только в научных исследованиях, но и при решении прикладных задач.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Брякин И.В., Калинин Н.Н. Устройство контроля намагниченности постоянных магнитов [Текст]/ Калинин Н.Н., Брякин И.В./А.с. №1252745 (СССР) G01R 33/12 – Оpubл. 23.08.86., Бюл. № 31.
2. Брякин И.В., Духанин М.А., Першакова Е.Ю. Феррозондовый магнитометр с конденсаторным элементом возбуждения [Текст]/Проблемы автоматизации и управления. – Бишкек: Илим, 2002. – С.135–145.
3. Брякин И.В. Методы и средства подповерхностного зондирования [Текст] /И.В. Брякин//Проблемы автоматизации и управления. – Бишкек: Илим, 2006. – С.116–126.
4. Брякин И.В. Индукционный зонд для обнаружения подповерхностных объектов [Текст]/И.В. Брякин//Проблемы автоматизации и управления. – Бишкек: Илим, 2007. – С.168 – 176.
5. Брякин И.В. Беспроводная система охранно-пожарной сигнализации и внутренней связи [Текст] /И.В. Брякин //Материалы международной конференции «Проблемы управления и информационных технологий», №1. – Бишкек: Илим, 2007. – С. 236 – 241.
6. Брякин И.В., Кожоголов К.Ч., Никольская О.В. Новый подход к системам мониторинга оползневых процессов [Текст]/Кожоголов К.Ч., Никольская О.В. И.В. Брякин//Материалы международной конференции «Проблемы управления и информационных технологий», №1. – Бишкек: Илим, 2007. – С.340–345.
7. Брякин И.В. Дифференциальная индукционная установка с ферромагнитным сердечником [Текст]/И.В. Брякин//Материалы международной конференции «Проблемы управления и информационных технологий», №1. – Бишкек: Илим, 2007. – С.231–236.
8. Брякин И.В. Ферромодуляционный сейсмоприемник [Текст]/И.В. Брякин //Материалы международной научной конференции «Современные проблемы математики, информатики и управления». – Алматы, 2008. – С. 121 – 126.
9. Брякин И.В. Магнитометрическая система ориентации подвижных объектов [Текст] /И.В. Брякин//Проблемы автоматизации и управления. – Бишкек: Илим, 2008. – С.43–52.
10. Брякин И.В. Ферромодуляционный вибродатчик [Текст] /И.В. Брякин /Тезисы докладов Российской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения»

(УКИ'08). – Москва, 2008.

11. Брякин И.В. Универсальная система контроля и диагностики для объектов и окружающей среды [Текст]: тез. докл./И.В. Брякин/Межд. научн. практич. конф. «Перспективы развития научно-инновационной деятельности». – Бишкек, 2008.

12. Брякин И.В. Ферромодуляционный сейсмоприемник [Текст]/И.В. Брякин//Труды Международной научно-практической конференции «Информационно-инновационные технологии: Интеграция науки, образования и бизнеса». – Алматы, 2008. – С. 441 – 448

13. Брякин И.В. Ферромодуляционный вибродатчик [Текст]/И.В. Брякин //Труды первой Российской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (УКИ-08). – Москва: ИПУ РАН, 2008. – С. 613–619

14. Брякин И.В. Ферромодуляционный сейсмоприемник [Текст] /И.В. Брякин // «Вестник» Казахского национального технического университета №4 (67). – Алматы: НТИЦ, 2008.–С.– 131–137.

15. Брякин И.В., Шаршеналиев Ж.Ш. Магнитометр на базе компонентного феррозондового датчика с регулярной прецессией [Текст] / Ж.Ш. Шаршеналиев, И.В. Брякин//«Вестник» Национальной инженерной академии Республики Казахстан, №3 (29). – Алматы: Комплекс, 2008.–С.76–81.

16. Брякин И.В. Магнитометр для систем ориентации объектов по магнитному полю [Текст] /И.В. Брякин//Труды «Четвертой Международной конференции по проблемам управления» (МКПУ-IV). – Москва: ИПУ РАН, 2009. – С.1944–1953.

17. Брякин И.В., Чалый А.Е. Измерительный преобразователь емкости в напряжение [Текст]/И.В. Брякин, А.Е. Чалый // Вестник КРСУ, Т9, №1. – Бишкек: Тип. КРСУ, 2009. – С.70–75.

18. Брякин И.В. Универсальный сейсморегистратор [Текст]/И.В. Брякин //Проблемы автоматки и управления, №1. – Бишкек: Илим, 2009. – С.111–120.

19. Брякин И.В. К вопросу снижения уровня ложных сигналов в феррозондах [Текст]/Проблемы автоматки и управления, №2. – Бишкек: Илим, 2009. – С.125–133

20. Брякин И.В., Лыченко Н.М. О некоторых аспектах применения интегрированной среды MATLAB при проектировании информационно-измерительных систем [Текст]/И.В. Брякин //Проблемы автоматки и управления, №2. – Бишкек: Илим, 2009. – С.66 –73.

21. Брякин И.В. Ферросейсмометр с упругим подвесом [Текст]/И.В. Брякин //Материалы международной конференции «Проблемы управления и информационных технологий», №1. – Бишкек: Илим, 2010. – С.183–187.

22. Брякин И.В., Лыченко Н.М. Применение объектно-ориентированного подхода к проектированию информационно-измерительных систем [Текст] /И.В. Брякин //Материалы международной конференции «Проблемы управления и информационных технологий», №1. – Бишкек: Илим, 2010. – С.188–192.

23. Брякин И.В. Градиентометрические сейсмоприемники [Текст]: тез. докл. /И.В. Брякин//Вторая Российской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения»

(УКИ-10). – Москва, 2010.

24. Брякин И.В. Градиентометрические сейсмоприемники [Текст] /И.В. Брякин //Труды второй Российской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (УКИ-10). – Москва: ИПУ РАН 2010. – С.212–221

25. Брякин И.В. Методология итерационного проектирования магнитовариационной ИИС [Текст]/И.В. Брякин//Проблемы автоматки и управления, №1. – Бишкек: Илим, 2011. – С.101–111.

26. Брякин И.В., Шакиров Р. Вопросы совершенствования сложных автоматизированных систем [Текст]/И.В. Брякин, Р. Шакиров//Проблемы автоматки и управления, №1. – Бишкек: Илим, 2011. – С.20–30

27. Брякин И.В., Шаршеналиев Ж.Ш. Инерциальные датчики с электромагнитным позиционированием [Текст]/Ж.Ш. Шаршеналиев, И.В. Брякин //Мехатроника, автоматизация, управление, №6. – М: Новые технологии, 2011. – С.20 – 26.

28. Брякин И.В., Добровольский Н. Концепция создания информационно-вычислительного компонента сложных систем [Текст]/И.В. Брякин, Н. Добровольский //Проблемы автоматки и управления, №2. – Бишкек: Илим, 2011. – С.74–84.

29. Брякин И.В. Геофизическая измерительная система на базе МК AVR и интегрированной среды MatLab [Текст]/И.В. Брякин//Проблемы автоматки и управления, №2. – Бишкек: Илим, 2011. – С.63–73.

30. Брякин И.В. Электродинамический модулятор на базе С-антенны» [Текст]/И.В. Брякин//Проблемы автоматки и управления, №1. – Бишкек: Илим, 2012. – С.117–127.

31. Брякин И.В. Феррозонд с парафазным возбуждением [Текст]/И.В. Брякин//Проблемы автоматки и управления, №1. – Бишкек: Илим, 2012. – С.105–116.

32. Брякин И.В. Электродинамический акселерометр [Текст]/И.В. Брякин // Проблемы автоматки и управления, №2. – Бишкек: Илим, 2012. – С.154–148.

32. Брякин И.В. Испытательный стенд для ферросейсмометров [Текст]/ И.В. Брякин//Проблемы автоматки и управления, №2. – Бишкек: Илим, 2012. – С.137–116.

34. Брякин И.В. Электромуляционный феррозондовый магнитометр. [Текст]: тез. докл./И.В. Брякин/ Третья Российская конференция с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (УКИ-12). – Москва, 2012

35. Брякин И.В. Электромуляционный феррозондовый магнитометр [Текст]/И.В. Брякин//Труды третьей Российской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (УКИ-12). – Москва: ИПУ РАН, 2012. – С.610–618.

36. Брякин И.В. Магнитометрические средства измерения, контроля и технической диагностики [Текст]: монография/И.В. Брякин. – Бишкек: Илим,

2012. – 212 с.

37. Брякин И.В. Магнитодинамический магнитометр для задач дефектоскопии [Текст]/И.В. Брякин//Мехатроника, автоматизация, управление; №3. – М: Новые технологии, 2013. – С.35–41.

## РЕЗЮМЕ

**Брякин Иван Васильевичтин 05.13.05 – “Эсептөөчү техниканын жана башкаруу тутумунун элементтери жана жабдуулары” адистиги боюнча техникалык илимдердин доктору илимий даражасын алуу үчүн “Прецизиондук элементтерди жана көзөмөлдүн жана башкаруунун автоматташкан тутумунун жабдууларын иштеп чыгуу” темасына жазылган диссертациясына**

**Ачкыч сөздөр:** датчик, феррозонд, магнитометр, вибродатчик, акселерометр, сейсмодатчик, ченөө каражаттары, электромагниттик талаа, антенна, модулятор, аралыктан зонддоо, маалыматтык-ченөө тутуму.

**Изилдөө объектиси:** магниттик метрикалык мониторингдин феррозонддук датчиктери жана маалыматтык-ченөө тутумдары.

**Иштин максаты:** ченөөчү, маалыматтык жана башкаруу функцияларын аткарган агрегаттык каражаттардын курамдык бирдиктерин жеткиликтүү кылуу жолу менен ишенимдүүлүк, үнөмдүүлүк жана багыттуулук көрсөткүчтөрүн жакшыртуунун эсебинен АСКУнун сапатын көтөрүү

**Изилдөө ыкмалары:** активдүү электр чынжырларынын топологиялык синтези жана оптималдуу ченөөнү кайра түзүүчүлөрдүн статистикалык курамдык синтези, радиотехника электродинамикасынын жана толкундуу процесстердин заманбап теориясы, күтүүсүз процесстердин болжолдуу мүнөздөмөлөрүнүн статистикалык ченөөлөр теориясы, редукция теориясы, дисперсиондук бир фактордуу анализдин ыкмасы.

**Аппаратура.** Атайын иштелип чыккан магнитометрикалык жана виброметрикалык эксперименталдык жабдуулар. Стандарттык ченөө жабдууларынын жыйнагы: осциллографтар, электрондук вольтмерлер, фазометрлер, жыштыкты ченөөчүлөр жана селективдик күчөткүчтөр, о.э. сигналдардын генераторлору жана кубаттандыруу булактары. Маалыматтык- эсептөөчү компонент катары тиешелүү программалык камсыз кылуусу менен жеке компьютер колдонулду.

**Алынган натыйжалар жана алардын жаңылыгы:** иштелип чыккан феррозондук датчиктердин дүүлүгүүсүнүн жаңы ыкмасы, анын базасында магнитометрикалык кайра түзүүчүлөрдүн жаңы классы түзүлдү, ар кайсы багыттагы феррозондук датчиктердин колдонуудагы макеттик үлгүлөрү иштелип чыкты жана даярдалды.

**Колдонуу денгээли:** атайын аппаратуранын жыйнагы жана көзөмөл-ченөө каражаттары катары өзүнчө иштеп чыгуулар учурдагы инженердик-геологиялык багытта техникалык тутумдун курамында жана ар кандай технологиялык процесстерди башкаруу тутумдарында колдонуу таба алды.

**Колдонуу тармагы:** иштеп чыгуулар дефектоскопияда, вибродиагностикада,

индукциялык зонддоодо, инженердик геофизикада жана магниттик позициялоо тапшырмаларын чечүүдө колдонууга багытталган.

## РЕЗЮМЕ

**диссертации Брякина Ивана Васильевича на тему «Разработка прецизионных элементов и устройств автоматизированных систем контроля и управления» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»**

**Ключевые слова:** датчик, феррозонд, магнитометр, вибродатчик, акселерометр, сейсмодатчик, дефектоскоп, средства измерения, электромагнитное поле, антенна, модулятор, дистанционное зондирование, информационно-измерительная система.

**Объект исследований:** феррозондовые датчики и информационно-измерительные системы магнитометрического мониторинга.

**Цель работы:** повышение качества АСКУ, за счет улучшения показателей назначения, надежности и экономичности путем совершенствования структурных единиц ее агрегатных средств, выполняющих измерительные, информационные и управляющие функции.

**Методы исследования:** топологический синтез активных электрических цепей и статистический структурный синтез оптимальных измерительных преобразователей, современная теория радиотехнической электродинамики и волновых процессов; теория статистических измерений вероятностных характеристик случайных процессов; теория редукции; метод дисперсионного однофакторного анализа.

**Аппаратура.** Специально разработанные магнитометрическая и виброметрическая экспериментальные установки. Комплекс стандартных измерительных приборов: осциллографы; электронные вольтметры, фазометры, частотомеры и селективные усилители, а также генераторы сигналов и источники питания. В качестве информационно-вычислительного компонента применялся персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением.

**Полученные результаты и их новизна:** разработан новый способ возбуждения феррозондовых датчиков, на базе которого создан новый класс магнитометрических преобразователей; разработаны и изготовлены действующие макетные образцы феррозондовых датчиков различного назначения.

**Степень использования:** отдельные разработки в качестве контрольно-измерительных средств и комплексов специализированной аппаратуры нашли применение в составе действующих технических систем инженерно-геологического назначения и системах управления различными технологическими процессами.

**Область применения:** разработки ориентированы на применение в дефектоскопии, вибродиагностике, индукционном зондировании, инженерной

геофизике и для решения задач магнитного позиционирования.

## SUMMARY

**Brjakin Ivan Vasilievich's dissertation on the theme «Development of precision elements and devices of the automated systems for monitoring and control» on competition of a scientific degree of a Dr.Sci.Tech. on a speciality 05.13.05 – «Elements and devices of computer engineering and control systems»**

**Keywords:** transducer, flux gate, magnetometer, vibration detector, accelerometer, seismosensor, fault finder, measuring elements, electromagnetic field, aerial, modulator, remote sounding, information-measuring system.

**Object of researches:** flux gate transducers and information-measuring systems of magnetometric monitoring.

**The work purpose:** improvement of quality of the automated systems for monitoring and control due to improvement of indices of appointment, reliability and efficiency by perfection of structural units of its modular means which are carrying out measuring, information and control functions.

**Research methods:** topological synthesis of active electric chains and statistical structural synthesis of optimum measuring converters, the modern theory of radio engineering electrodynamics and wave processes; the theory of statistical measurements of probabilistic characteristics of casual processes; the reduction theory; a method of the dispersive one-factorial analysis.

**Equipment.** Specially developed magnetometric and vibration-survey experimental plant. A complex of standard measuring devices: oscillographs; electronic voltmeters, phasometers, frequencymeters and selective amplifiers, and also signal generators and power supplies. As an information component the personal computer with the corresponding software was applied.

**The developed results and their novelty:** the new way of excitation of flux gate transducers on which base the new class magnetometric converters is developed; operating model samples flux-gate sensor of different function are developed and made.

**Use degree:** separate developed results as control and measuring means and complexes of specialised equipment have found application as a part of operating technical systems of engineering-geological appointment and control systems for various technological processes.

**Application domain:** developed results are orientated on application in crack detection, vibration monitoring, induction sounding, engineering geophysics and for the decision of problems of magnetic positioning.



Брякин Иван Васильевич

## РАЗРАБОТКА ПРЕЦИЗИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Автореферат диссертации

---

Подписано в печать 22.03.2013. Формат бумаги 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Бумага офс. Объем 2,5 п.л. Тираж 100 экз.

---

720071, г. Бишкек, пр. Чуй 265 а  
Издательство «Илим»