

*Əlyazması hüququnda*

**QƏMBƏR AĞAVERDİ OĞLU QULUYEV**

**OBYEKTLƏRİN QƏZA VƏZİYYƏTİNƏ KEÇMƏSİNİN  
GİZLİ DÖVRÜNÜN NOİSE MONİTORİNG  
TEKNOLOGİYALARI VƏ SİSTEMLƏRİ**

3338.01 - Sistemli analiz, idarəetmə və informasiyanın işlənməsi

Texnika üzrə elmlər doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim olunmuş dissertasiyanın

**AVTOREFERATI**

**BAKİ - 2013**

*На правах рукописи*

**ГАМБАР АГАВЕРДИ ОГЛЫ ГУЛУЕВ**

**ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ NOISE MONITORING  
СКРЫТОГО ПЕРИОДА ПЕРЕХОДА ОБЪЕКТОВ  
В АВАРИЙНОЕ СОСТОЯНИЕ**

3338.01 - Системный анализ, управление и обработка информации

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора наук по технике

**БАКУ - 2013**

Работа выполнена в Институте Кибернетики  
Национальной Академии Наук Азербайджана

**Научные консультанты:**

Академик НАН Азербайджана,  
доктор технических наук, профессор

**Т.А. АЛИЕВ**

Академик НАН Азербайджана,  
доктор технических наук, профессор

**А.М. АББАСОВ**

**Официальные оппоненты:**

Доктор технических наук  
Доктор технических наук  
Доктор технических наук

**Ведущая организация:**

Защита диссертации состоится « 24 » 10 г. в на заседании диссертационного совета Д 01.121 при Институте Кибернетики НАН Азербайджана по адресу: Б.Вахабзаде, 9, AZ 1141, Баку, Азербайджан.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института Кибернетики НАН Азербайджана

Автореферат разослан «    » г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктора философии по математики

**А.Б.ПАШАЕВ**

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность проблемы.** Проведенные исследования показали, что для решения задачи мониторинга начала периода перехода в аварийное состояние промышленных объектов необходимо извлечение информации, содержащейся в помехах. В традиционных технологиях для устранения влияния помехи на результаты решаемых задач зачастую применяют методы фильтрации. Они дают хорошие результаты, когда совпадают спектр "фильтра" со спектром помехи. В то же время, для объектов в период их перехода в аварийное состояние спектр и дисперсия помехи меняются в широком диапазоне времени, и при этом известные классические условия не выполняются. По этим причинам при применении традиционных технологий для устранения влияния помехи на результат обработки сигналов приходится расширять диапазон спектра "фильтра". Это, в свою очередь, еще больше искажает полезный сигнал.

Исследования периода перехода объектов в аварийное состояние показали, что в некоторых случаях помеха возникает в результате определенных процессов, происходящих в контролируемых объектах. При этом помеха становится носителем информации, которая в результате фильтрации стирается. Этим самым теряется важная, в некоторых случаях единственная ценная информация. Учитывая это, целесообразно создание технологий и систем, обладающих свойством извлечения информации, содержащейся в помехах зашумленных сигналов. Важность этой работы связана с тем, что при этом появляется возможность использования помехи как носителя информации для создания систем и технических средств обнаружения начальной стадии изменений, происходящих в объектах. Учитывая указанное, в диссертационной работе, не умаляя важность фильтрации и традиционной информационной технологии, показана необходимость и целесообразность использования других альтернативных технологий при решении рассматриваемой задачи.

В предлагаемых noise технологиях и системах в отличие от традиционных технологий, где за счет фильтрации объем извлекаемой информации от суммарного сигнала уменьшается, предлагаемая альтернативная технология обладает свойством их увеличения за счет выделения и анализа помехи. Это качественное отличие открывает широкие возможности, а благодаря этому появляется ряд преимуществ-возможность решения многочисленных задач диагностики, распознавания, идентификации, прогнозирования и т. д. в

нефтегазодобыче, нефтехимии, энергетике, геофизике, сейсмике, авиации, медицине, для которых применение традиционных технологий невозможно. Например, на основе анализа помехи становится возможным помехопрогноз аварий на технических объектах и патологий в биологических объектах. При этом повышается достоверность прогноза аварий при бурении нефтяных скважин, мониторинга аномальных сейсмических процессов, прогноза аварий до вылетов самолетов, прогноза аварий на морских платформах и коммуникациях, на компрессорных станциях и т.д.

Тема диссертационной работы связана с тематическим планом Института Кибернетики НАН Азербайджана.

**Цель и задачи работы.** В настоящее время из-за ошибок информационных систем аварии на электростанциях, морских объектах нефтегазодобычи и коммуникаций, на магистральных нефтегазопроводах, нефтехимических комплексах, в крупнотоннажных танкерах, в авиалайнерах и т.д., несмотря на многократное повышение надежности их элементной базы, остается неоправданно высоким. Нередко это происходит по вине традиционных информационных технологий, так как они обеспечивают мониторинг перехода объектов в аварийное состояние, в основном, после приобретения ими явно выраженного характера. По этой причине в некоторых случаях обнаружение перехода объектов в аварийное состояние в информационных системах оказывается запоздалым. Иногда это приводит к катастрофическим последствиям.

В литературе показано, что как в технических, так и в биологических объектах при переходе в аварийное состояние характеристики сигналов и шумов на выходах соответствующих датчиков непрерывно меняются. Нарушаются известные классические условия, увеличивается время решения задачи. Учитывая эти и другие специфики начальной стадии перехода объектов в аварийное состояние, в диссертации на основе робастных Noise технологий предлагается принцип построения технических средств и Noise систем, позволяющих за счет извлечения информации из шума, осуществить мониторинг перехода объектов в аварийное состояние в начале его зарождения. Обосновываются их преимущества, на многочисленных примерах приводится возможность их применения для решения задач помехомониторинга начала перехода объектов в аварийное состояние в нефтегазодобыче, строительстве, энергетике, на транспорте, в сейсмике, авиации, медицине и т.д.

Кроме того, они могут найти широкое применение при решении многочисленных задач, где требуется обработка и анализ сигналов в различных областях науки и техники.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Для индикации начала скрытого периода перехода объекта из нормального в аварийное состояние предлагается технология вычисления оценок корреляционных и спектральных индикаторов, которые при нормальном состоянии принимают значения, равные нулю. В системе мониторинга из них формируется матрица информативных признаков, и в процессе эксплуатации объекта по номеру и величине элемента, отличающегося от нуля, определяется место и характер возникшей неисправности.

2. Разработана технология определения оценок величины помехокорреляции, дисперсии помех, взаимно корреляционной функции и коэффициента корреляции между полезным сигналом и помехой для индикации начала периода скрытого, незаметного перехода объекта из нормального состояния в аварийное.

3. Предложено применение технологии вычисления робастных оценок корреляционных функций и робастных корреляционных матриц для идентификации начала скрытого периода аварийного состояния в системах контроля и управления. В системах мониторинга технического состояния промышленных объектов, в процессе эксплуатации объекта, по номеру и величине элемента матрицы, отличающегося от исходного, можно определить место и характер возникшей неисправности.

4. Разработана алгоритмическая основа систем диагностики и прогнозирования изменения состояния морских платформ и Телеметрическая информационная система помехопрогнозирования перехода объектов в аварийное состояние при бурении.

5. Разработана система определения мгновенного дебита нефтяных скважин, эксплуатируемых штанговыми глубиннонасосными установками на основе анализа динамограмм и ваттмограмм с применением технологии robust noise monitoring-a. При этом, для решения задач идентификации также применен метод наименьших квадратов и трехслойная нейронная сеть с обратной связью идентификации.

6. Предложен принцип построения станции анализа сейсмоакустического сигнала, позволяющий использовать его помеху в качестве носителя информации о начале аномальных сейсмических

процессов, предшествующих землетрясениям. На ее основе построены станции робастного noise мониторинга аномальных сейсмических процессов, принимающие сейсмоакустические шумы из глубинных пластов при помощи стальных стволов законсервированных нефтяных скважин глубиной 3–6 км, осуществляющих мониторинг начала скрытого периода подготовки землетрясения. Эксперименты на станциях, расположенных на острове «Гум адасы» в Каспийском море и в городе Ширван южного региона Азербайджана, подтвердили надежность и достоверность результатов мониторинга в радиусе 500–700 км с опережением стандартных сейсмостанций на 10–15 ч.

7. Для мониторинга начала периода скрытого незаметного перехода нефтеперекачивающих и компрессорных станций (НПС и КС) из нормального в аварийное состояние предложена система noise контроля. При зарождении всевозможных дефектов, которые обычно предшествуют периоду перехода объектов в аварийное состояние, оценки характеристик помехи отличаются от эталонных. Эксплуатация системы на компрессорной станции показала ее эффективность и надежность.

#### **Методы исследования.**

Работа выполнена на основе следующих методов и исследований:

1. Теория вероятности и математическая статистика;
2. Теория стохастических процессов;
3. Методы статистической динамики линейных систем;
4. Прикладные методы и технологии Signal Processing-a;
5. Принцип построения измерительно-информационных систем,

систем контроля, диагностики и управления.

#### **Научная новизна работы.**

1. Проанализировано современное состояние диагностики технических объектов. Выявлены особенности мониторинга перехода объектов в аварийное состояние, причины, разновидности и стадии развития перехода технических объектов в аварийное состояние, трудности мониторинга перехода объекта в аварийное состояние с применением традиционных технологий.

2. Определены эксплуатационные характеристики и факторы, влияющие на адекватность мониторинга перехода объектов в аварийное состояние.

3. Определено влияние операции фильтрации сигналов и традиционных методов выбора шага дискретизации на адекватность мониторинга перехода объекта в аварийное состояние.

4. Определены специфические особенности процесса Noise мониторинга начальной стадии перехода технических объектов в аварийное состояние.

5. Установлена возможность применения дисперсии помехи в качестве индикатора перехода объекта в аварийное состояние.

6. Разработаны цифровые технологии определения дисперсии помехи при отсутствии корреляции между полезным сигналом и помехой, а также при наличии корреляции между полезным сигналом и помехой.

7. Разработаны алгоритмы определения оценок коэффициентов ряда Фурье при спектральном мониторинге начала перехода объекта в аварийное состояние.

8. Разработаны алгоритмы вычисления погрешностей коэффициентов ряда Фурье сигналов, получаемых на выходах датчиков.

9. Разработаны технологии спектрального анализа помехи при мониторинге начала перехода объекта в аварийное состояние.

10. Разработана цифровая технология для определения информативных признаков мониторинга начала перехода объекта в аварийное состояние при нарушении классических условий.

11. Разработана алгоритмическая основа систем диагностики и прогнозирования состояния объектов при бурении и объектов морских платформ.

12. Разработаны системы определения мгновенного дебита для нефтяных скважин на основе помехотехнологий.

13. Разработаны принципы построения RNM ASP станций.

14. Разработана система мониторинга периода скрытого перехода компрессорной станции в аварийное состояние.

#### **Практическая значимость работы.**

Практическая значимость предложенных Noise систем и средств связана с тем, что, не умаляя значения фильтрации, решение задачи мониторинга начала периода перехода объекта в аварийное состояние осуществляется путем извлечения информации из помехи, что позволяет использовать ее как для коррекции погрешностей результатов анализа с применением классических алгоритмов, так и для решения других задач контроля и управления, для которых применение традиционных технологий невозможно. При этом в первую очередь определяются дисперсия  $D_{\varepsilon}$ , взаимно корреляционная функция

$R_{xe}(\mu)$ , а также коэффициент корреляции  $r_{xe}$  между полезным сигналом  $X(i\Delta t)$  и помехой  $\varepsilon(i\Delta t)$ , устраняется влияние помехи на результаты корреляционного и спектрального анализов зашумленного сигнала  $g(i\Delta t)$ , и, наконец, они применяются для решения задачи помехомониторинга начала перехода объектов в аварийное состояние и помехопрогнозирования изменения состояний объектов в процессе их нормальной эксплуатации.

#### **Реализация и внедрение результатов работы.**

Результаты диссертационной работы внедрялись и успешно внедряются на многочисленных стратегических объектах республики:

1. На Бакинском Нефтеперерабатывающем Заводе им. Гейдара Алиева выполнены два проекта:

- Разработка робастной информационной системы диагностики и прогнозирования вибрационного состояния компрессорного агрегата МК-302/2. Система сдана в эксплуатацию в 2007-ом году.

- Разработка Интеллектуальной системы мониторинга технологическими параметрами. Система сдана в эксплуатацию в 2008-ом году.

2. Для Karasu Operating Company разработана и внедрена Станция Плавного Управления Станков-качалки (СПУС) на 8 скважинах. На основе указанных СПУС создана беспроводная система сбора информации и управления скважинами от компьютера диспетчерского пункта промысла «Karasu Operating Company». Система сдана в эксплуатацию в 2010-ом году.

3. Для Shirvan OC LTD разработана и внедрена Система дистанционного контроля работы, диагностики и управления насосов на 70 скважин. Система сдана в эксплуатацию в 2011-ом году.

4. Для Salyan Oil LTD разработана и внедрена Устройства контроля Трап комплекса «Айна» на 6 Групповым Замерным Устройстве (ГЗУ).

Устройства сданы в эксплуатацию в 2012-ом году.

5. На скважины 3619 Балаханынефт в 2009-2011 годах проводились эксперименты по применению Станции Плавного Управления Станка Качалки (MDSIS). О результатах работы MDSIS получено Справка.

6. Для НГДУ «Бибиэбатнефть» разработана и внедрена «Система диагностики и дистанционного управления скважин со станками- качалками» для 35 скважин.

7. Выполнены проекты, финансируемые научным фондом ГНКАР:

- Созданы сети сейсмоакустических станций robust-noise мониторинга аномальных сейсмических процессов на Южном Кавказе и в бассейне Каспийского моря с использованием законсервированных нефтяных скважин в качестве сейсмоакустического канала. Начало проекта - октябрь месяц 2012-го года.

- Созданы системы нового поколения контроля, диагностики и управления на базе robust-noise анализа ваттметрограмм скважин, эксплуатируемых штанговыми глубинными насосами. Начало проекта - октябрь месяц 2012-го года.

8. Выполнены проекты, которые представлены в научный фонд ГНКАР:

- Создание робастной системы диагностики и стабилизации процесса бурения на разведочных буровых судах;

- Создание системы интеллектуального мониторинга скрытого периода неисправностей компрессорного оборудования, используемого на магистральных нефтегазопроводах и предприятиях нефтегазовой отрасли;

- Создание интеллектуального преобразователя силы для скважин со штанговыми глубинными насосами.

9. Разработан и финансируван проект «Разработка технологии определения координат аномальных сейсмических процессов STCU project 5601 (Science and Technology Center in Ukraine)». Начало проекта – июнь месяц 2012-го года.

Задачи, поставленные и решенные в диссертационной работе, тесно связаны с тематическими планами Института Кибернетики НАНА, полученные результаты входят в список важнейших результатов НАНА за 2009 - 2012-ый годы.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы были изложены на:

- II-ой Международной конференции «Проблемы кибернетики и информатики» (г. Баку, 2008);

- III-ей Международной конференции «Проблемы кибернетики и информатики» (г. Баку, 2010);

- Девятом Международном Симпозиуме «Интеллектуальные системы» INTELS'2010, Российская Федерация, г. Владимир;

- Reduction the risks of Emergency situation and notification of partners about NYUGO Framework for action. The International Symposium

(Baku, 2010);

- IV-ой Международной конференции «Проблемы кибернетики и информатики» (г. Баку, 2012);

- Десятом Международном Симпозиуме «Интеллектуальные системы» (г. Москва, 2012);

- Международной выставке и научной конференции «Наука, техника и инновационные технологии в счастливой эпохе могучего государства» (Ашхабад, 2012);

- II-ой Международной научно-практической конференции «Новые технологии в нефтегазодобыче» (г. Баку, 2012);

- The 2nd World Conference on Soft Computing (2012, Baku);

- 6<sup>th</sup> International Conference on Management Science and Engineering Management, (2012, Pakistan);

- Şamaxı zəlzələsinin 110 illiyi münasibəti ilə “Seysmiklik, zəlzələlərin proqnozu, tikililərin zəlzələyə davamlılığı” mövzusunda V Beynəlxalq Konfrans, (Bakı, 2012);

- IV ALL-Ukrainian Scientific-Practical conference “Informatics and Systems sciences”, (Poltava, 2013).

**Достоверность результатов** диссертации подтверждается соответствующим математическим аппаратом, примерами решения задач, эксплуатацией разработанных систем на которых продемонстрированы предлагаемые технологии и алгоритмы.

**Публикация.** По теме диссертации опубликованы 64 научные работы, в том числе:

- Патенты 3;

- В составе книги “Telman Aliev: Noise technologies for Minimization of Damage Caused by Earthquakes”, Lap Lambert academic publication, 2012. 3;

-Тезисы на конференциях 16;

- Статьи 45;

- В зарубежных журналах 15.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 5-и глав, выводов, приложения и списка литературы, содержащего 256 наименования. Основная часть работы изложена на 222 страницах, содержит 2 таблицы и 39 рисунков.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, приведены цели и задачи, поставленные в диссертационной работе.

Кроме того, во введении приведены методы исследования, основные положения, выносимые на защиту, научная новизна, публикации и структура диссертационной работы. Введение заканчивается краткой аннотацией о содержании работы.

**В первой главе** проведён анализ современного состояния диагностики технических объектов, направления теоретических работ и работы ведущих фирм по созданию систем диагностики. Проведён анализ мониторинга перехода объекта в аварийное состояние с применением традиционных технологий.

Показано, что применение традиционных технологий позволяет получить более или менее приемлемые оценки лишь в том случае, если анализируемые сигналы являются стационарными, подчиняются нормальному закону распределения, корреляция между помехой и полезным сигналом равна нулю и помеха представляет собой белый шум.

Проанализированы вопросы Noise мониторинга начала периода перехода объекта в аварийное состояние. Показано, что неадекватность решений к возникшим ситуациям связана с невозможностью обнаружения начальной стадии перехода объекта в аварийное состояние при применении известных методов анализа зашумленных сигналов.

Поставлены задачи Noise мониторинга начала периода перехода технических объектов в аварийное состояние. Поставлены задачи анализа сигналов робастных технологий корреляционного и спектрального анализов. Поставлены задачи определения перехода технических объектов в аварийное состояние, разработки новых технологий для надежной и безошибочной индикации зарождения дефекта.

**Во второй главе** разработана методика определения эксплуатационных характеристик технических объектов. Испытание методики проведено по данным системы TDC3000 фирмы Honeywell для установки каталитического крекинга, эксплуатируемой на Бакинском Нефтеперерабатывающем заводе им. Гейдара Алиева.

Проведён анализ факторов, влияющих на адекватность мониторинга перехода объектов в аварийное состояние, связанных с применением классических методов. Установлено, что применение таких методов часто даёт почти удовлетворительные результаты и помогает оценке развития состояния технической системы, однако адекватность таких моделей затруднительна в начальные периоды

изменения состояния.

Проведён анализ факторов, влияющих на адекватность мониторинга перехода объектов в аварийное состояние методами корреляционного и спектрального анализов.

Определено влияние операции фильтрации сигналов и традиционных методов выбора шага дискретизации на адекватность мониторинга перехода объекта в аварийное состояние. Правильный учет влияния информации, содержащейся в  $\varepsilon(i\Delta t)$ , требует определения значений отсчетов суммарного сигнала, исходя из частоты спектра помехи  $\varepsilon(i\Delta t)$ , по формуле  $\Delta t_\varepsilon \leq \frac{1}{2f_{c_\varepsilon}}$  (где  $f_c, f_{c_\varepsilon}$  являются

частотами среза  $X(i\Delta t)$  и  $\varepsilon(i\Delta t)$  соответственно).

**В третьей главе** определены специфические особенности процесса Noise мониторинга начальной стадии перехода технических объектов в аварийное состояние. Определен состав информативного множества, сформированного по оценкам, соответствующим каждому  $i$ -му состоянию из всех  $k$  возможных состояний объекта.

Определена возможность применения дисперсии помехи в качестве индикатора перехода объектов в аварийное состояние.

Дисперсию помехи зашумленного сигнала  $g(i\Delta t)$  можно вычислить по выражению:

$$D_\varepsilon = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \overset{\circ}{g}^2(i\Delta t) + \overset{\circ}{g}(i\Delta t)\overset{\circ}{g}((i+2)\Delta t) - 2\overset{\circ}{g}(i\Delta t)\overset{\circ}{g}((i+1)\Delta t) \right]$$

Чтобы убедиться в возможности использования полученной оценки в качестве индикатора, представим ее в виде:

$$\begin{aligned} D_\varepsilon = & \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ \left[ \overset{\circ}{X}(i\Delta t)\overset{\circ}{X}(i\Delta t) + \overset{\circ}{X}(i\Delta t)\overset{\circ}{X}((i+2)\Delta t) - 2\overset{\circ}{X}(i\Delta t)\overset{\circ}{X}((i+1)\Delta t) \right] + \right. \\ & + \left[ \overset{\circ}{X}(i\Delta t)\overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t) + \overset{\circ}{X}(i\Delta t)\overset{\circ}{\varepsilon}((i+2)\Delta t) - 2\overset{\circ}{X}(i\Delta t)\overset{\circ}{\varepsilon}((i+1)\Delta t) \right] + \\ & + \left[ \overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t)\overset{\circ}{X}(i\Delta t) + \overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t)\overset{\circ}{X}((i+2)\Delta t) - 2\overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t)\overset{\circ}{X}((i+1)\Delta t) \right] + \\ & \left. + \left[ \overset{\circ}{\varepsilon}^2(i\Delta t) + \overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t)\overset{\circ}{\varepsilon}((i+2)\Delta t) - 2\overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t)\overset{\circ}{\varepsilon}((i+1)\Delta t) \right] \right\}, \end{aligned}$$

где  $\overset{\circ}{g}(i\Delta t) = g(i\Delta t) - m_g$ ,  $\overset{\circ}{X}(i\Delta t) = X(i\Delta t) - m_X$ ,  $\overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t) = \varepsilon(i\Delta t) - m_\varepsilon$ ;  $m_g$ ,  $m_X$ ,  $m_\varepsilon$  - математические ожидания соответственно  $g(i\Delta t)$ ,  $X(i\Delta t)$ ,  $\varepsilon(i\Delta t)$ .

Определены корреляционные индикаторы начала перехода объекта в аварийное состояние для центрированных и не центрированных сигналов. Известно, что на практике при вычислении оценок авто и взаимно корреляционных функций дискретизированных зашумленных сигналов  $g(i\Delta t)$ ,  $\eta(i\Delta t)$ , состоящих из полезных сигналов  $X(i\Delta t)$ ,  $Y(i\Delta t)$  и помех  $\varepsilon(i\Delta t)$ ,  $\varphi(i\Delta t)$  предполагается, что выполняются равенства:

$$\begin{aligned} & \left. \left. \begin{aligned} g(i\Delta t) = X(i\Delta t) + \varepsilon(i\Delta t) \\ \eta(i\Delta t) = Y(i\Delta t) + \varphi(i\Delta t) \end{aligned} \right\} \right\} \begin{aligned} R_{gg}(\mu) = R_{gg}(\mu) \\ R_{g\eta}(\mu) = R_{g\eta}(\mu) \end{aligned} \quad , \\ & \left. \left. \begin{aligned} R_{XX}(\mu) = R_{XX}(\mu) \\ R_{YY}(\mu) = R_{YY}(\mu) \end{aligned} \right\} \right\} \begin{aligned} R_{XX}(\mu) = R_{XX}(\mu) \\ R_{XX}(\mu) = R_{gg}(\mu) \end{aligned} \quad , \\ & R_{X\varepsilon}(\mu) \approx R_{X\varphi}(\mu) \approx 0, \end{aligned}$$

где  $R_{XX}(\mu)$ ,  $R_{gg}(\mu)$ ,  $R_{g\eta}(\mu)$ ,  $R_{XY}(\mu)$ ,  $R_{X\varepsilon}(\mu)$  - авто- и взаимно корреляционные функции центрированных сигналов  $\overset{\circ}{X}(i\Delta t)$ ,  $\overset{\circ}{g}(i\Delta t)$ ,  $\overset{\circ}{Y}(i\Delta t)$ ,  $\overset{\circ}{\eta}(i\Delta t)$  и помех  $\overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t)$ ,  $\overset{\circ}{\varphi}(i\Delta t) = \varphi(i\Delta t) - m_\varphi$ ;  $R_{XX}(\mu)$ ,  $R_{gg}(\mu)$ ,  $R_{g\eta}(\mu)$ ,  $R_{XY}(\mu)$  - авто- и взаимно корреляционные функции нецентрированных сигналов  $X(i\Delta t)$ ,  $g(i\Delta t)$ ,  $Y(i\Delta t)$ ,  $\eta(i\Delta t)$ ;  $\mu = 0, \mu_{\max}$ ,  $\mu_{\max} \cdot \Delta t = \tau_{\max}$  - время, при котором между  $X(i\Delta t)$  и  $X(i+\mu)\Delta t$  или  $X(i\Delta t)$  и  $Y(i\Delta t)$  корреляция равна нулю;  $m_\varepsilon = 0$ ;  $\overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t) = \varepsilon(i\Delta t)$ ,  $\overset{\circ}{\varphi}(i\Delta t) = \varphi(i\Delta t)$ . Тогда согласно равенствам при нормальном состоянии объекта разности:

$$R_{gg}(\mu = \mu_{\max}) - R_{gg}(\mu = \mu_{\max}) = \lambda_{gg}(\mu = \mu_{\max}),$$

$R_{g\eta}(\mu = \mu_{\max}) - R_{g\eta}(\mu = \mu_{\max}) = \lambda_{g\eta}(\mu = \mu_{\max})$  равны нулю.

Однако при изменении технического состояния они резко меняются при переходе сигнала из временного интервала  $T_0$  во временные интервалы  $T_1$ , или  $T_2$ . Следовательно, величины  $\lambda_{gg}(\mu = \mu_{\max})$ ,  $\lambda_{g\eta}(\mu = \mu_{\max})$  могут быть использованы для индикации микроизменений в техническом состоянии контролируемых объектов:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{T_1 T_1}(\mu = \mu_{\max}) &= R_{gg}^{T_1}(\mu = \mu_{\max}) - R_{gg}^{T_0}(\mu = \mu_{\max}) \\ \lambda_{T_0 T_1}(\mu = \mu_{\max}) &= R_{gg}^{T_0}(\mu = \mu_{\max}) - R_{gg}^{T_1}(\mu = \mu_{\max}) \\ \lambda_{T_1 T_1}^*(\mu = \mu_{\max}) &= R_{g\eta}^{T_1}(\mu = \mu_{\max}) - R_{g\eta}^{T_0}(\mu = \mu_{\max}) \\ \lambda_{T_0 T_1}^*(\mu = \mu_{\max}) &= R_{g\eta}^{T_0}(\mu = \mu_{\max}) - R_{g\eta}^{T_1}(\mu = \mu_{\max}) \end{aligned} \right\},$$

В качестве индикатора также может быть использована разность изменения оценок характеристик для нецентрированных сигналов  $g(i\Delta t)$ ,  $\eta(i\Delta t)$  во временных интервалах  $T_0$  и  $T_1$ , т.е.:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{T_0 T_1}^{**}(\mu = \mu_{\max}) &= R_{gg}^{T_1}(\mu = \mu_{\max}) - R_{gg}^{T_0}(\mu = \mu_{\max}) \\ \lambda_{T_0 T_1}^{**}(\mu = \mu_{\max}) &= R_{g\eta}^{T_1}(\mu = \mu_{\max}) - R_{g\eta}^{T_0}(\mu = \mu_{\max}) \end{aligned} \right\}.$$

Определены задачи помехомониторинга начала перехода объекта в аварийное состояние.

Разработаны методы и цифровая технология анализа помехи и полезного сигнала для случая отсутствия и при наличии корреляции между ними.

Разработаны цифровые технологии для определения информативных признаков мониторинга начала перехода объекта в аварийное состояние при нарушении классических условий:

1. Определяется шаг дискретизации зашумленного сигнала  $g(i\Delta t)$  и помехи  $\varepsilon(i\Delta t)$ .

2. Проверяются условия:

$$\left| R_{gg}(\tau = \Delta t_\varepsilon) - R_{gg}(\tau = 2\Delta t_\varepsilon) \right| \leq \Delta X,$$

$$\left| R_{gg}(\tau = 2\Delta t_\varepsilon) - R_{gg}(\tau = 3\Delta t_\varepsilon) \right| \leq \Delta X,$$

выполнение которых означает, что найденный шаг дискретизации  $\Delta t_\varepsilon$  удовлетворителен. В противном случае  $\Delta t_\varepsilon$  уменьшается, и снова проверяются указанные условия.

3. Математическое ожидание помехи  $\varepsilon(i\Delta t)$  определяется как:

$$m_\varepsilon \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{sgn}[\varepsilon'(i\Delta t) - \varepsilon''(i\Delta t)] \times \left\{ \left[ \dot{g}(i\Delta t) \left[ \dot{g}(i\Delta t) + \dot{g}((i+2)\Delta t) - 2\dot{g}((i+1)\Delta t) \right] - \dot{g}(i\Delta t) \left[ \dot{g}((i+1)\Delta t) + \dot{g}((i+3)\Delta t) - 2\dot{g}((i+2)\Delta t) \right] \right] \right\}^{\frac{1}{2}}.$$

4. По выражению:

$$D_\varepsilon \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ \dot{g}(i\Delta t) \left[ \dot{g}(i\Delta t) + \dot{g}((i+2)\Delta t) - 2\dot{g}((i+1)\Delta t) \right] - \dot{g}(i\Delta t) \left[ \dot{g}((i+1)\Delta t) + \dot{g}((i+3)\Delta t) - 2\dot{g}((i+2)\Delta t) \right] \right\}$$

определяется оценка дисперсии помехи.

5. По выражению:

$$R_{x\varepsilon}(\mu) \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \dot{g}(i\Delta t) - \text{sgn}[\varepsilon'(i\Delta t) - \varepsilon''(i\Delta t)] \right] \times \left\{ \left[ \dot{g}(i\Delta t) \left[ \dot{g}(i\Delta t) + \dot{g}((i+2)\Delta t) - 2\dot{g}((i+1)\Delta t) \right] - \dot{g}(i\Delta t) \left[ \dot{g}((i+1)\Delta t) + \dot{g}((i+3)\Delta t) - 2\dot{g}((i+2)\Delta t) \right] \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \times \text{sgn}[\varepsilon'(i\Delta t) - \varepsilon''(i\Delta t)] \left\{ \left[ \dot{g}(i\Delta t) \left[ \dot{g}(i\Delta t) + \dot{g}((i+2)\Delta t) - 2\dot{g}((i+1)\Delta t) \right] - \dot{g}(i\Delta t) \left[ \dot{g}((i+1)\Delta t) + \dot{g}((i+3)\Delta t) - 2\dot{g}((i+2)\Delta t) \right] \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$



вычисляется оценка взаимно корреляционной функции (ВКФ) между полезным сигналом  $\dot{X}(i\Delta t)$  и помехой  $\dot{\varepsilon}(i\Delta t)$ .

6. По выражению:

$$m_x \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \dot{g}(i\Delta t) - \text{sgn}[\varepsilon'(i\Delta t) - \varepsilon''(i\Delta t)] \times \right. \\ \left. \times \left\{ \dot{g}(i\Delta t) \left[ \dot{g}(i\Delta t) + \dot{g}((i+2)\Delta t) - 2\dot{g}((i+1)\Delta t) \right] - \right. \right. \\ \left. \left. - \dot{g}(i\Delta t) \left[ \dot{g}((i+1)\Delta t) + \dot{g}((i+3)\Delta t) - 2\dot{g}((i+2)\Delta t) \right] \right\} \right]^{\frac{1}{2}}$$

определяется оценка математического ожидания полезного сигнала  $X(i\Delta t)$ .

7. По выражению:

$$D_x \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \dot{g}(i\Delta t) - \text{sgn}[\varepsilon'(i\Delta t) - \varepsilon''(i\Delta t)] \times \right. \\ \left. \times \left\{ \dot{g}(i\Delta t) \left[ \dot{g}(i\Delta t) + \dot{g}((i+2)\Delta t) - 2\dot{g}((i+1)\Delta t) \right] - \right. \right. \\ \left. \left. - \dot{g}(i\Delta t) \left[ \dot{g}((i+1)\Delta t) + \dot{g}((i+3)\Delta t) - 2\dot{g}((i+2)\Delta t) \right] \right\} \right]^2$$

определяется оценка дисперсии полезного сигнала  $X(i\Delta t)$ .

8. Оценки среднеарифметической относительной погрешности отсчетов зашумленного сигнала для случаев отсутствия и наличия корреляции между полезным сигналом и помехой, т.е.  $r_{x\varepsilon} = 0$  и  $r_{x\varepsilon} \neq 0$ , вычисляются по соответствующим формулам:

$$\bar{\lambda}_{rel} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N \left[ \dot{g}^2(i\Delta t) + \dot{g}(i\Delta t)\dot{g}((i+2)\Delta t) - 2\dot{g}(i\Delta t)\dot{g}((i+1)\Delta t) \right]}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \dot{g}^2(i\Delta t)}}$$

$$\bar{\lambda}_{rel} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N \left[ \dot{g}^2(i\Delta t) - 3\dot{g}(i\Delta t)\dot{g}((i+1)\Delta t) + 3\dot{g}(i\Delta t)\dot{g}((i+2)\Delta t) - \dot{g}(i\Delta t)\dot{g}((i+3)\Delta t) \right]}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \dot{g}^2(i\Delta t)}}$$

Разработаны алгоритмы цифровые помехоидентификации начала перехода объекта в аварийное состояние.

**В четвертой главе** определены вопросы спектрального мониторинга начала перехода объекта в аварийное состояние. Разработаны алгоритмы определения оценок коэффициентов ряда Фурье при спектральном мониторинге начала перехода объекта в аварийное состояние и спектральные помехоиндикаторы начала перехода объекта в аварийное состояние. Начальные периоды перехода объектов в аварийные состояния, величина погрешности от помехи в полученных оценках  $a_n$ ,  $b_n$  при анализе сигналов, значительна. Понятно, что из-за этого обнаружение начала перехода объекта в аварийное состояние практически невозможно.

Принимая во внимание равенства:

$$\overline{\dot{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \dot{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t),$$

$$\overline{\dot{g}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \dot{g}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t),$$

и учитывая знаки отсчетов сигнала  $\dot{g}(i\Delta t)$  и  $\cos n\omega(i\Delta t)$ , разность микропогрешностей коэффициентов  $a_n$  ряда Фурье:

$$\lambda_a^R = \lambda_{a_n}^+ - \lambda_{a_n}^- = \\ = \left[ N_{a_n}^{++} \overline{\dot{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)} + N_{a_n}^{--} \overline{\dot{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)} \right] - \\ - \left[ N_{a_n}^{+-} \overline{\dot{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)} + N_{a_n}^{-+} \overline{\dot{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)} \right].$$

В указанных выражениях остается неучтенной часть погрешности, которая вызвана неравенством  $\Pi^+ \neq \Pi^-$ . Для их учета

при реализации традиционных алгоритмов в процессе вычисления суммы  $\sum_{i=1}^N \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)$  целесообразно одновременно определять среднюю величину произведений и среднюю величину положительных и отрицательных произведений, а также их количества, т.е.  $N$ ,  $N^+$  и  $N^-$ .

При этом, для случая  $N^+ = N^-$  и  $\Pi^+ \neq \Pi^-$ , неучтенная погрешность будет равна:

$$\frac{1}{2} N \left[ \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^+ - \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^- \right].$$

Очевидно, что аналогичная погрешность при  $N^+ > N^-$  и  $\Pi^+ > \Pi^-$  будет равна:

$$\frac{1}{2} [N - (N_{a_n}^+ - N_{a_n}^-)] \left[ \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^+ - \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^- \right].$$

А при  $N^+ < N^-$  и  $\Pi^+ < \Pi^-$  указанная погрешность будет равна:

$$r_{x\varepsilon} \frac{1}{2} [N - (N_{a_n}^- - N_{a_n}^+)] \left[ \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^+ - \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^- \right].$$

Следовательно, принимая во внимание указанные неучтенные погрешности, формулу для определения  $\lambda_{a_n}^R$  можно представить в виде:

$$\lambda_{a_n}^R = \begin{cases} 0 & \text{при } N^+ = N^- \text{ и } \Pi^+ = \Pi^-, \\ r_{x\varepsilon} \frac{1}{4} (N_{a_n}^+ - N_{a_n}^-) \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^+ + \\ + r_{x\varepsilon} \frac{1}{2} N \left[ \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^+ - \right. \\ \left. - \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^- \right] & \text{при } N^+ = N^- \text{ и } \Pi^+ \neq \Pi^-, \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} r_{x\varepsilon} \frac{1}{4} (N_{a_n}^+ - N_{a_n}^-) \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^+ + \\ + r_{x\varepsilon} \frac{1}{2} [N - (N_{a_n}^+ - N_{a_n}^-)] \left[ \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^+ - \right. \\ \left. - \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^- \right] \text{ при } N^+ > N^- \text{ и } \Pi^+ > \Pi^-, \\ \\ r_{x\varepsilon} \frac{1}{4} (N_{a_n}^- - N_{a_n}^+) \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^- + \\ + r_{x\varepsilon} \frac{1}{2} [N - (N_{a_n}^- - N_{a_n}^+)] \left[ \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^+ - \right. \\ \left. - \overline{\lambda_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t)}^- \right] \text{ при } N^+ < N^- \text{ и } \Pi^+ < \Pi^-. \end{array} \right.$$

Определены причины появления разности положительных и отрицательных погрешностей от помех при спектральном анализе сигналов, получаемых на выходах датчиков.

Разработаны алгоритмы вычисления погрешностей коэффициентов ряда Фурье сигналов, получаемых на выходах датчиков. Определение погрешностей  $\lambda_{a_n}$  и  $\lambda_{b_n}$  оценок  $a_n$  и  $b_n$  можно привести к виду:

$$\lambda_{a_n} = \frac{2}{N} \left[ \sum_{i=1}^{N^{++}} \overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t) \cos^+ n\omega(i\Delta t) + \sum_{i=1}^{N^{--}} \overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t) \cos^- n\omega(i\Delta t) \right] - \\ - \frac{2}{N} \left[ \sum_{i=1}^{N^{+-}} \overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t) \cos^- n\omega(i\Delta t) + \sum_{i=1}^{N^{-+}} \overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t) \cos^+ n\omega(i\Delta t) \right], \\ \lambda_{b_n} = \frac{2}{N} \left[ \sum_{i=1}^{N^{++}} \overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t) \sin^+ n\omega(i\Delta t) + \sum_{i=1}^{N^{--}} \overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t) \sin^- n\omega(i\Delta t) \right] - \\ - \frac{2}{N} \left[ \sum_{i=1}^{N^{+-}} \overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t) \sin^- n\omega(i\Delta t) - \sum_{i=1}^{N^{-+}} \overset{\circ}{\varepsilon}(i\Delta t) \sin^+ n\omega(i\Delta t) \right],$$

$\cos^+ n\omega(i\Delta t)$ ,  $\sin^- n\omega(i\Delta t)$ ,  $\cos^- n\omega(i\Delta t)$ ,  $\sin^+ n\omega(i\Delta t)$  – отсчеты положительных и отрицательных полупериодов соответственно  $n$ -й косинусоиды и синусоиды,  $N^{++}$ ,  $N^{--}$ ,  $N^{+-}$ ,  $N^{-+}$  – количество погрешностей со знаком  $++$ ,  $--$ ,  $+-$  и  $-+$  соответственно. При этом появляется возможность определять величины улучшения робастности:

$$\lambda_a^R = \lambda_{a_n}^+ - \lambda_{a_n}^- = \left[ \sum_{i=i_1^{++}}^{N^{++}} \lambda_{a_n}^{++}(i\Delta t) + \sum_{i=i_1^{--}}^{N^{--}} \lambda_{a_n}^{--}(i\Delta t) \right] - \left[ \sum_{i=i_1^{+-}}^{N^{+-}} \lambda_{a_n}^{+-}(i\Delta t) + \sum_{i=i_1^{-+}}^{N^{-+}} \lambda_{a_n}^{-+}(i\Delta t) \right],$$

$$\lambda_b^R = \lambda_{b_n}^+ - \lambda_{b_n}^- = \left[ \sum_{i=i_1^{++}}^{N^{++}} \lambda_{b_n}^{++}(i\Delta t) + \sum_{i=i_1^{--}}^{N^{--}} \lambda_{b_n}^{--}(i\Delta t) \right] - \left[ \sum_{i=i_1^{+-}}^{N^{+-}} \lambda_{b_n}^{+-}(i\Delta t) + \sum_{i=i_1^{-+}}^{N^{-+}} \lambda_{b_n}^{-+}(i\Delta t) \right],$$

где  $i^{++}$ ,  $i^{--}$ ,  $i^{+-}$ ,  $i^{-+}$  и  $N^{++}$ ,  $N^{--}$ ,  $N^{+-}$ ,  $N^{-+}$  – индексы суммирования со знаком множителей  $++$ ,  $--$ ,  $+-$ ,  $-+$  и их количества соответственно.

Таким образом, робастные формулы определения коэффициентов ряда Фурье имеют вид:

$$a_n^R = \frac{2}{N} \left\{ \sum_{i=1}^N \left[ \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t) - \lambda_{a_n}^R \right] \right\},$$

$$b_n^R = \frac{2}{N} \left\{ \sum_{i=1}^N \left[ \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t) - \lambda_{b_n}^R \right] \right\}.$$

Разработаны технологии спектрального анализа помехи при мониторинге начала перехода объекта в аварийное состояние и алгоритмы Noise мониторинга начала периода перехода объекта в аварийное состояние. Ниже предлагается совокупность последовательности процедур, представляющая собой технологию спектрального мониторинга начала перехода объекта в аварийное состояние.

1. Определяется приближенное значение шага дискретизации помехи  $\varepsilon(i\Delta t)$ :

$$\Delta t_\varepsilon = \Delta t.$$

2. Определяются оценки  $R_{gg}(\mu = \Delta t)$ ,  $R_{gg}(\mu = 2\Delta t)$  и  $R_{gg}(\mu = 3\Delta t)$  и проверяются условия:

$$R_{gg}(\mu = \Delta t) - R_{gg}(\mu = 2\Delta t) \geq \Delta X,$$

$$R_{gg}(\mu = 2\Delta t) - R_{gg}(\mu = 3\Delta t) \geq \Delta X.$$

где  $\Delta X$  – шаг квантования по уровню. При невыполнении этих условий шаг дискретизации  $\Delta t_\varepsilon$  помехи уменьшается, и снова повторяется процедура проверки условий.

3. Определяется дисперсия помехи:

$$D_\varepsilon \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \overset{\circ}{g}^2(i\Delta t) + \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \overset{\circ}{g}((i+2)\Delta t) - 2 \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \overset{\circ}{g}((i+1)\Delta t) \right]$$

4. Определяется коэффициент корреляции  $r_{X\varepsilon} \approx \frac{R_{X\varepsilon}}{\sqrt{R_{XX}(\mu=0) \cdot D_\varepsilon}}$

между помехой и полезным сигналом.

5. Определяются робастные коэффициенты  $a_{n\varepsilon}$ ,  $a_{n\varepsilon}$  и  $b_{n\varepsilon}$ ,  $b_{n\varepsilon}$ .

6. Оценки величины  $\lambda_{an}^R$ ,  $\lambda_{bn}^R$  определяются в следующем порядке:

6.1. Определяется среднее арифметическое значение относительной погрешности отчетов  $\bar{\lambda}_{rel}$  и коэффициент корреляции  $r_{X\varepsilon}$ .

6.2. Определяются величины  $\Pi^+$ ,  $\Pi^-$ ,  $N^+$  и  $N^-$ .

6.3. Проверяются условия  $N^+ = N^-$  и  $\Pi^+ = \Pi^-$ , при выполнении которых коэффициенты помехи  $a_{n\varepsilon}$  и  $b_{n\varepsilon}$  приравниваются нулю.

6.4. При выполнении условий  $N^+ \neq N^-$  и  $\Pi^+ \neq \Pi^-$  формулы для определения оценок  $a_{n\varepsilon}$  и  $b_{n\varepsilon}$  применяются в виде:

$$a_{n\varepsilon} = (N_{n\varepsilon}^+ - N_{n\varepsilon}^-) \bar{\lambda}_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t),$$

$$b_{n\varepsilon} = (N_{n\varepsilon}^+ - N_{n\varepsilon}^-) \bar{\lambda}_{rel} \overset{\circ}{g}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t).$$

6.5. При выполнении условий  $N^+ > N^-$  и  $\Pi^+ \neq \Pi^-$  оценки  $a_{n\varepsilon}$ ,  $b_{n\varepsilon}$  определяются по выражениям:

$$a_{n\varepsilon} = \left[ (N_{a_n}^+ - N_{a_n}^-) \right] \bar{\lambda}_{rel} \overset{+}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t) +$$

$$+ r_{x\varepsilon} \left[ N - (N_{a_n}^+ - N_{a_n}^-) \right] \left[ \bar{\lambda}_{rel} \overset{+}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t) - \bar{\lambda}_{rel} \overset{-}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t) \right]$$

$$b_{n\varepsilon} = \left[ (N_{b_n}^+ - N_{b_n}^-) \right] \bar{\lambda}_{rel} \overset{+}{g}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t) +$$

$$+ r_{x\varepsilon} \left[ N - (N_{b_n}^+ - N_{b_n}^-) \right] \left[ \bar{\lambda}_{rel} \overset{+}{g}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t) - \bar{\lambda}_{rel} \overset{-}{g}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t) \right].$$

6.6. Если имеет место  $N^+ < N^-$  и  $\Pi^+ \neq \Pi^-$ , то оценки  $a_{n\varepsilon}$ ,  $b_{n\varepsilon}$  определяются по выражениям:

$$a_{n\varepsilon} = \left[ (N_{a_n}^- - N_{a_n}^+) \right] \bar{\lambda}_{rel} \overset{-}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t) +$$

$$+ r_{x\varepsilon} \left[ N - (N_{a_n}^- - N_{a_n}^+) \right] \left[ \bar{\lambda}_{rel} \overset{-}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t) - \bar{\lambda}_{rel} \overset{+}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t) \right],$$

$$b_{n\varepsilon} = \left[ (N_{b_n}^- - N_{b_n}^+) \right] \bar{\lambda}_{rel} \overset{-}{g}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t) +$$

$$+ r_{x\varepsilon} \left[ N - (N_{b_n}^- - N_{b_n}^+) \right] \left[ \bar{\lambda}_{rel} \overset{-}{g}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t) - \bar{\lambda}_{rel} \overset{+}{g}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t) \right].$$

6.7. При выполнении условий  $N^+ = N^-$  и  $\Pi^+ \neq \Pi^-$  искомые оценки определяются по формулам:

$$a_{n\varepsilon} = r_{x\varepsilon} N \left[ \bar{\lambda}_{rel} \overset{+}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t) - \bar{\lambda}_{rel} \overset{-}{g}(i\Delta t) \cos n\omega(i\Delta t) \right],$$

$$b_{n\varepsilon} = r_{x\varepsilon} N \left[ \bar{\lambda}_{rel} \overset{+}{g}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t) - \bar{\lambda}_{rel} \overset{-}{g}(i\Delta t) \sin n\omega(i\Delta t) \right].$$

Таким образом, спектральный анализ помехи в зависимости от требования точности и быстродействия можно осуществить по указанным технологиям.

**В пятой главе** рассмотрены системы noise мониторинга начала периода перехода объекта в аварийное состояние:

- разработана гибридная система диагностики и прогнозирования изменения состояния морских платформ с применением новых информационных технологий (рис.1.).

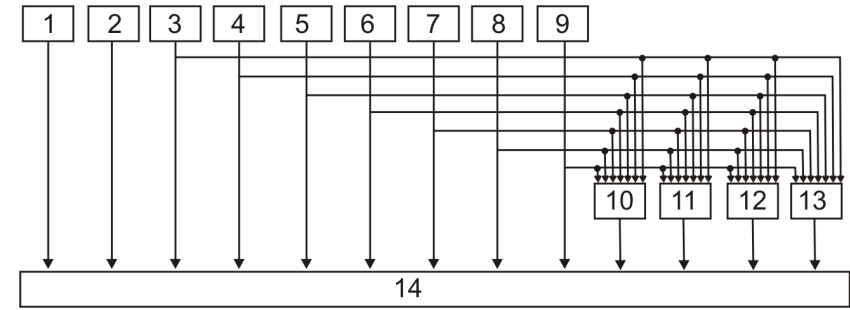


Рис. 1. Блок-схема гибридной системы диагностики состояния морских платформ.

Система состоит из следующих блоков: 1 - блок анализа информации, полученной от специалистов о визуальных наблюдениях, гидролокации, подводных исследованиях водолазов; 2 - блок анализа информации датчиков-свидетелей; 3 - блок анализа сигналов инклинометров и акселерометров, фиксирующих углы наклона и закручивания; 4 - блок анализа сигналов уровнемеров, определяющих линейные смещения платформы; 5 - блок анализа сигналов вибродатчиков, измеряющих собственные частоты колебаний элементов конструкции; 6 - блок анализа сигналов акустическо-эмиссионной системы с пьезопреобразователями; 7 - блок анализа сигналов тензодатчиков деформаций элементов конструкции; 8 - блок анализа сигналов датчиков скорости и направления ветра; 9 - блок анализа сигналов датчиков давления в полости элементов; 10 - блок диагностики с использованием алгоритмов робастного корреляционного анализа; 11 - блок диагностики с использованием алгоритмов робастного спектрального анализа; 12 - блок диагностики с использованием алгоритмов позиционно-бинарного анализа; 13 - блок прогнозирования изменения состояния объекта на основе анализа помехи от датчиков технологических параметров; 14 - блок сигнализации и представления информации специалистам.

- Телеметрическая информационная система помехопрогнозирования перехода объектов в аварийное состояние

состояние при бурении (рис.2).

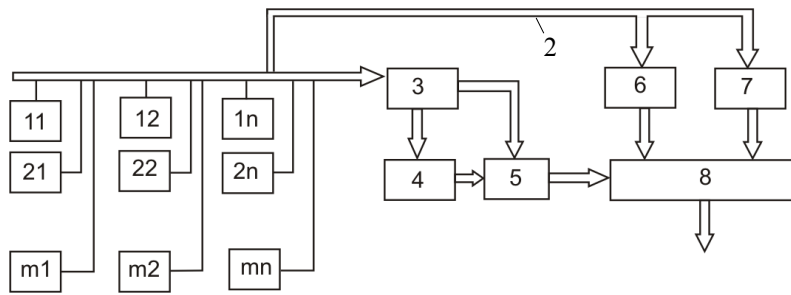


Рис.2. Телеметрическая интеллектуальная система помехопрогнозирования аварий.

Система состоит из следующих блоков: 11, 12, ..., mn - датчики контролируемых параметров бурения; 2 - интерфейс; 3 - блок формирования робастных информативных признаков; 4 - база эталонных робастных знаний; 5 - блок робастной идентификации; 6 - блок анализа по традиционным методам и алгоритмам; 7 - база технологических и геологических данных; 8 - блок анализа и принятия решений, представляющий собой экспертную систему.

• Разработана помехотехнология и система определения дебита нефтяных скважин косвенными методами. Предлагается определить мгновенный дебит скважины в виде следующих равенств:

$$Q_1 = a_{11}D_X + a_{12}D_\varepsilon + a_{13}D_g$$

$$Q_2 = a_{21} \frac{R_{\varepsilon X \varepsilon}}{D_\varepsilon} + a_{22} \frac{R_{X \varepsilon}}{D_\varepsilon} + a_{23} \frac{R_{\varepsilon X \varepsilon}}{R_{X \varepsilon}}$$

$$Q_3 = a_{31} \frac{D_\varepsilon}{D_g} + a_{32} \frac{D_X}{D_g} + a_{33} \frac{D_\varepsilon}{D_X}$$

Коэффициенты  $a_{ij}$ ,  $i=1,2,3$ ,  $j=1,2,3$  для  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  определяются отдельно по методу наименьших квадратов. После обозначений:

▪ для первого равенства:

$$k_1 = a_{11}, k_2 = a_{12}, k_3 = a_{13}, X = D_X, Y = D_\varepsilon, Z = D_g$$

▪ для второго равенства:

$$k_1 = a_{21}, k_2 = a_{22}, k_3 = a_{23}, X = \frac{R_{\varepsilon X \varepsilon}}{D_\varepsilon}, Y = \frac{R_{X \varepsilon}}{D_\varepsilon}, Z = \frac{R_{\varepsilon X \varepsilon}}{R_{X \varepsilon}}$$

▪ для третьего равенства:

$$k_1 = a_{31}, k_2 = a_{32}, k_3 = a_{33}, X = \frac{D_\varepsilon}{D_g}, Y = \frac{D_X}{D_g}, Z = \frac{D_\varepsilon}{D_X}$$

каждое из равенств можно представить в виде:

$$q = k_1 X + k_2 Y + k_3 Z$$

С помощью таблицы определения строится функция:

$$F(k_1, k_2, k_3) = \sum_{n=1}^N (k_1 X_n + k_2 Y_n + k_3 Z_n - q_n)^2$$

Значения коэффициентов  $k_1, k_2, k_3$ , дающих минимум функции, определяют необходимые коэффициенты  $a_{ij}$ ,  $i=1,2,3$ ,  $j=1,2,3$ . Поэтому решается система уравнений относительно  $k_1, k_2, k_3$ :

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial k_1} = 2k_1 \sum_{n=1}^N X_n^2 + 2k_2 \sum_{n=1}^N X_n Y_n + 2k_3 \sum_{n=1}^N X_n Z_n - 2 \sum_{n=1}^N q_n X_n = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial k_2} = 2k_1 \sum_{n=1}^N X_n Y_n + 2k_2 \sum_{n=1}^N Y_n^2 + 2k_3 \sum_{n=1}^N Y_n Z_n - 2 \sum_{n=1}^N q_n Y_n = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial k_3} = 2k_1 \sum_{n=1}^N X_n Z_n + 2k_2 \sum_{n=1}^N Y_n Z_n + 2k_3 \sum_{n=1}^N Z_n^2 - 2 \sum_{n=1}^N q_n Z_n = 0 \end{cases}$$

После разделения всех уравнений на два и после перевода свободных членов в правую сторону, система уравнений решается по правилу Крамера.

Таким образом:

$$k_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}, k_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta}, k_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta}$$

Определенный по формуле  $Q = \frac{1}{3}(Q_1 + Q_2 + Q_3)$  мгновенный

дебит остается в силе между двумя замерами в случае вычисления обычным способом с помощью имеющегося замерного устройства.

• Разработан алгоритм определения усилия на шток станка качалки по потребляемой мощности электропривода во время работы установки.

• Разработаны принципы создания RNM ASP станций, приведены результаты применения сейсмоакустической станции, расположенной на острове «Гум адасы» (Песчаный) в Каспийском море. Схема

сейсмоакустической станции АСП приведена на рис. 3. Для получения информации от глубинных (3–6 км) сейсмопроцессов в качестве канала связи используются консервированные нефтяные скважины. В блоке 2 по вышеуказанным технологиям анализируется сейсмоакустический сигнал, определяются соответствующие оценки. Блок 1 состоит из сейсмического и акустического (гидрофона) датчиков, которые устанавливаются на устье скважины глубиной 3 - 6 км. Блок 3 представляет собой стандартную сейсмоаппаратуру, позволяющую фиксировать и оценивать силу сейсмоколебаний. Блок 4 и сервер центра мониторинга выполняют функцию идентификации аномальных сейсмических процессов с результатами регистрации землетрясений на станциях сейсмической службы.

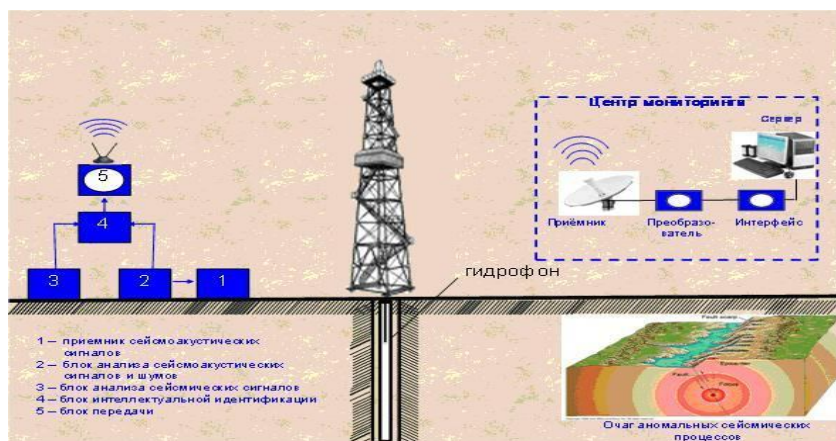


Рис.3. Робастная распределенная система помехомониторинга сейсмостойкости строительных объектов.

Первые результаты экспериментов показывают, что при помощи САС имеется возможность осуществить мониторинг в радиусе более чем 500-700 км, а также за 2-10 часов до землетрясения (рис.4 и 5). Из этих результатов следует, что разность времени зарождения АСП и времени его критического состояния, которое приводит к землетрясению, меняется в зависимости от места расположения очага землетрясения. На основании результатов также можно предположить, что сейсмоакустические волны при распространении от очага землетрясения, в результате сопротивления некоторых пластов отражаются и меняются в горизонтальном направлении. Также можно предположить, что именно благодаря достаточной мощности эти волны

могут преодолевать большие расстояния.

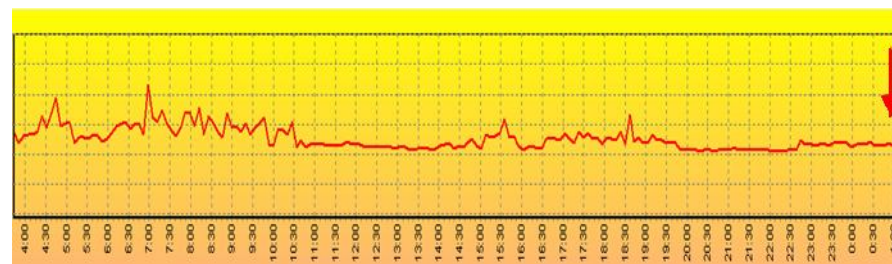


Рис.4. 08.10.2010 г. Масаллы 00:58:11 М:3.5 d:12 км Дисперсия помехи.

Начало АСП примерно 04:30 в 08.10.2010 г., землетрясение 00:58:11 в 09.10.2010 г.

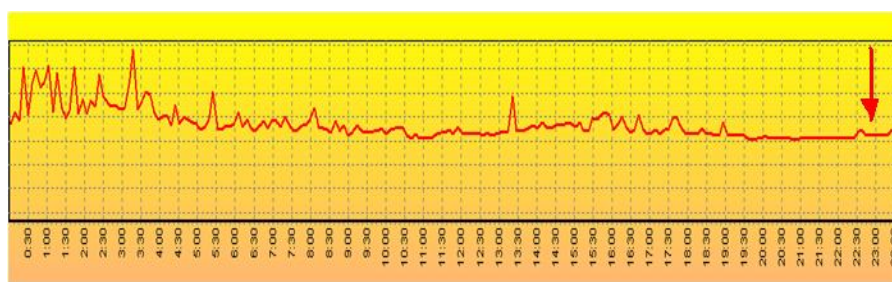


Рис. 5. 11.10.2010 г. Ширван 22:50:23 М:3.9 d:37 км Дисперсия помехи.

- Разработана система мониторинга периода скрытого перехода компрессорной станции в аварийное состояние.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научно-теоретические и практические результаты, полученные при решении задач в рамках диссертационной работы, заключаются в следующем:

1. Проведён анализ современного состояния диагностики технических объектов, направлений теоретических работ и работы ведущих фирм по созданию систем диагностики, затруднений мониторинга перехода объекта в аварийное состояние с применением традиционных технологий. Показано, что применение традиционных технологий для получения более или менее приемлемых оценок возможно лишь в том случае, если анализируемые сигналы являются

стационарными, подчиняются нормальному закону распределения, корреляция между помехой и полезным сигналом равна нулю и помеха представляет собой белый шум.

2. Проанализированы вопросы Noise мониторинга начала периода перехода объекта в аварийное состояние. Показано, что основная причина принятия диагностическими системами неадекватных решений к возникшим ситуациям связана с невозможностью обнаружения начальной стадии перехода объекта в аварийное состояние при применении известных методов анализа зашумленных сигналов.

3. Поставлены задачи Noise мониторинга начала периода перехода технических объектов в аварийное состояние. Поставлены задачи анализа сигналов робастных технологий корреляционного и спектрального анализа. Поставлены задачи определения перехода технических объектов в аварийное состояние, разработки новых технологий для надежной и безошибочной индикации зарождения дефекта.

4. Разработана методика определения эксплуатационных характеристик технических объектов. Испытание методики проведено по данным системы TDC3000 фирмы Honeywell для установки каталитического крекинга, эксплуатируемого на Бакинском Нефтеперерабатывающем заводе им. Гейдара Алиева.

5. Проанализированы факторы, влияющие на адекватность мониторинга перехода объектов в аварийное состояние, связанных с применением классических методов. Установлено, что применение таких методов часто даёт почти удовлетворительные результаты и помогает оценке развития состояния технической системы, однако адекватность таких моделей трудно обеспечивается в начальные периоды изменения состояния. Проанализированы факторы, влияющие на адекватность мониторинга перехода объектов в аварийное состояние методами корреляционного и спектрального анализа. Определено влияние операции фильтрации сигналов и традиционных методов выбора шага дискретизации на адекватность мониторинга перехода объекта в аварийное состояние. Правильный учет влияния информации, содержащейся в  $\varepsilon(i\Delta t)$ , требует определения значений отсчетов суммарного сигнала, исходя из частоты спектра помехи  $\varepsilon(i\Delta t)$ , по формуле  $\Delta t_\varepsilon \leq \frac{1}{2f_c}$  [ где  $f_c$ ,  $f_{c_\varepsilon}$  являются частотами среза  $X(i\Delta t)$  и  $\varepsilon(i\Delta t)$  соответственно ].

6. Определены специфические особенности процесса Noise мониторинга начальной стадии перехода технических объектов в аварийное состояние и состав информативного множества  $W$  возможных состояний объекта.

7. Определены корреляционные и спектральные индикаторы начала перехода объекта в аварийное состояние для центрированных и нецентрированных сигналов, разработаны методы и цифровая технология анализа помехи и полезного сигнала для случая отсутствия и при наличии корреляции между ними.

8. Разработаны цифровые технологии определения информативных признаков мониторинга начала перехода объекта в аварийное состояние при нарушении классических условий. Разработаны цифровые методы помехоидентификации начала перехода объекта в аварийное состояние.

9. Разработаны алгоритмы определения оценок коэффициентов ряда Фурье при спектральном мониторинге начала перехода объекта в аварийное состояние и спектральные помехоиндикаторы начала перехода объекта в аварийное состояние.

10. Определены причины появления разности положительных и отрицательных погрешностей от помех при спектральном анализе сигналов, получаемых на выходах датчиков. Разработаны алгоритмы вычисления погрешностей коэффициентов ряда Фурье сигналов, получаемых на выходах датчиков, Noise мониторинга начала периода перехода объекта в аварийное состояние и технология спектрального анализа помехи при мониторинге начала перехода объекта в аварийное состояние.

11. На основе результатов диссертационной работы разработаны и внедрены в производство следующие системы:

- Система Диагностики и Прогнозирования изменения состояния морских платформ с применением новых информационных технологий.

- Телеметрическая информационная система помехопрогнозирования перехода объектов в аварийное состояние при бурении.

- Система определения дебита нефтяных скважин косвенными методами.

- Сеть RNM ASP станций, приведены результаты применения сейсмоакустической станции, расположенной на острове «Гум адасы» (Песчаный) в Каспийском море.

- Система мониторинга периода скрытого перехода компрессорной станции в аварийное состояние.

**Основное содержание диссертации изложено в следующих публикациях:**

1. Алиев Т.А., Мамедов Ш.И., Гулуев Г.А. Аппаратные средства прогнозирования «прихват» в бурении // **Доклады Национальной Академии Наук Азербайджана, 2001, том LVII, №4-6, с. 97-102.**

2. Aliev T.A., Abbasov Ə.M., Əliyev E.R., Quluyev Q.A. «Method for monitoring and forecasting earthquakes». **Beynəlxalq patent WO/2007/143799, PCT/AZ2006/000002, Avrasiya patenti № 011003, Verilmə tarixi 30.12.2008.**

3. Əliyev T.A., Əliyev E.R., Nüsrətov O.Q., Quluyev Q.A., Paşayev F.H. Strateji və sosial əhəmiyyətli obyektlərin texniki vəziyyətinin paylanmış intellektual monitoring sistemi // **AMEA Xəbərləri, 2008, №3, s. 95-102.**

4. Guluyev Gambar, Rzayev Asif, Pashayev Fahrhad, Rzayev Asif, Malikov Rasim, Aliyev Yavar, Rizvanov Magomed. “Technologist” local control system of technological processov / **The second International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics”, Volume II, September 10-12, 2008, Baku, Azerbaijan, pp. 176-179.**

5. Əliyev T.A., Quluyev Q.A., Rzayev A.Q., Paşayev F.H., Yusifov İ.B. Ştanqlı, dərinlik nasoslu neft quyularının ani məhsuldarlığının təyini alqoritmi // **Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri. Fizika-Texnika və Riyaziyyat elmləri seriyası, cild XXIX, N 3, 2009 il, s. 125-129.**

6. Quluyev Q.A., Paşayev F.H. Neftçixarma müəssisələrinin intellektual nəzarət, diaqnostika və idarəetmə sistemlərində tətbiq edilən bəzi hamarlama alqoritmlərinin müqayisəli analizi // **Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri. Fizika-Texnika və Riyaziyyat elmləri seriyası, Cild XXIX, N 3, 2009 il, s.117-120.**

7. Алиев Т.А., Ализаде А.А., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г., Етирмишли Г.Д. Методика и порядок проведения экспериментов для контроля достоверности результатов сейсмоакустического мониторинга аномальных сейсмических процессов // **Известие НАН Азербайджана, серия Физико-математических и технических наук, том LVII, N 6, 2009 г, с. 96-98.**

8. Алиев А., Гулуев Г.А., Рзаев А.Г., Пашаев Ф.Г., Аббасов А.М. Позиционно - бинарное и спектральные индикаторы микроизменений

в технических состояниях объектов контроля // **Автоматика и вычислительная техника, 2009, №3, с. 57-69.**

9. Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Рзаев А.Г., Пашаев Ф.Г. Корреляционные индикаторы микроизменений в технических состояниях объектов контроля // **Кибернетика и системный анализ, Киев, 2009, №4, с. 169-178.**

10. Нусратов О.К., Гулуев Г.А., Рзаев А.Г., Пашаев Ф.Г. Юсифов И.Б., Ризванов М.Г. Информационный комплекс измерения, мониторинга, диагностики и управления для нефтяных скважин, эксплуатирующихся штанговыми глубинно-насосными установками // **Известие НАН Азербайджана, серия Физико-математических и технических наук, том XXIX, N 6, 2009, с. 176-183.**

11. Quluyev Q.A., Rzayev A.Q., Paşayev F.H., Əliyev Y.H., Seyidov P.O., Yusifov İ.B. Quyu ştanqlı nasos qurğularının mühərriklərinin tezlik çeviricisindən idarə olunmasının perspektivləri // **Azərbaycan neft təsərrüfatı, 2010, №3, s. 32-34.**

12. Алиев Т.А., Аббасов А.М., Ализаде А.М., Етирмишли Г.Д., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г., Рзаев А.Г. Интеллектуальная сейсмоакустическая система мониторинга начала зарождения нормальных сейсмических процессов // **Сейсмические приборы, 2010, т. 46, № 1, с. 27-41.**

13. Алиев А., Гулуев Г.А., Мусаева Н.Ф., Сатарова У.Э. Помехотехнологии идентификации перехода сложных объектов из нормального в аварийное состояние // **Известия НАН Азербайджана, серия Физико - математических и технических наук, N 3, 2010, с. 6-12.**

14. Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г., Масталиева Д.И., Саттаров И.Р., Рзаева Н.Э. Специфические особенности преобразования и анализа резко изменяющихся аналоговых сигналов // **Известия НАН Азербайджана, сер. Физ.-матем. и техн. наук, том XXX, № 3, 2010, с. 125-129.**

15. Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г., Садыгов А.Б. Помехоиндикация изменения динамического состояния производственных объектов // **Доклады Национальной Академии Наук Азербайджана, 2010, том LXVI, №3 с. 20-28.**

16. Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г., Садыгов А.Б. Принципы построения и функционирования интеллектуальных глубинных сейсмоакустических станций / **Девятый Международный Симпозиум «Интеллектуальные системы» INTELS'2010, Россия,**



Москва, 28 июня - 2 июля, 2010.

17. Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г., Садыгов А.Б. Принципы построения и функционирования глубинных сейсмоакустических станций / **Reduction the risks of Emergency situation and notification of partners about HYUGO Framework for action. The International Symposium, Baku 25-26 november 2010.**

18. Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г., Садыгов А.Б. Технология мониторинга скрытого периода появления корреляции между полезным сигналом и помехой технологических параметров // **Доклады Национальной Академии Наук Азербайджана, 2010, том LXVI, №2 с. 28-35.**

19. Алиев Т.А., Мусаева Н.Ф., Гулуев Г.А., Саттарова У.Э. Помехотехнологии индикации и идентификации скрытого периода перехода объекта из нормального в аварийное состояние // **"Мехатроника, Автоматизация, Управление" №9, 2010, с.13-18.**

20. Əliyev T.A., Nüsrətov O.Q., Guluyev G.A., Paşayev F.H. Azdebütlü neft quyularının dövrü iş rejimlərinin idarəedilməsi üsulu **Beynəlxalq patent PCT № 2007/000004, WO/2009/003249, 08.01.09, Avrasiya patenti №013 861, 30.08.2010.**

21. Гулуев Г.А., Рзаев А.Г., Пашаев Ф.Г., Ризванов М.Г. Интеллектуализированный блок управления и защиты асинхронных двигателей // **Известия НАН Азербайджана, сер. Физ.-матем. и техн. наук, том XXX, № 6, 2010, с. 137-144.**

22. Aliev Telman, Guluyev Gambar, Rzayev Asif, Pashayev Farhad, Yusifov Iltizam. Automated group unit for measuring debit of oil well on basis of piezometrical method / **The third international conference "Problems of cybernetics and informatics" Volume II September 6-8, 2010, Baku, Azerbaijan pp. 83-85.**

23. Aliev Telman, Musayeva Naila, Guluyev Gambar, Gadimov Rauf, Sattarova Ulkar. Noise technologies of identification of change of complex objects from normal to failure state / **The Third International Conference "Problems of Cybernetics and Informatics", Vol.2, 2010, pp. 51-54.**

24. Aliev Telman, Nusratov Ogtay, Guluyev Gambar, Rzayev Asif, Pashayev Farhad. Complex of monitoring and management for oil wells with rod pump / **The third international conference "Problems of cybernetics and informatics" Volume II September 6-8, 2010, Baku, Azerbaijan, pp. 83-85.**

25. Rzayev Ab.H., Quluyev Q.A., Paşayev F.H., Yusifov İ.B., Səttarov İ.R. Neft quyularında quyuağzı temperaturalar fərqi ilə debit

arasında əlaqə // **Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri. Fizika-Texnika və Riyaziyyat elmləri seriyası, cild XXXI, N 3, 2011 il, s. 125-129.**

26. Алиев Т.А., Нусратов О.К., Гулуев Г.А., Рзаев Ас.Г., Пашаев Ф.Г., Саттаров И.Р. Robust noise monitoring technology complex для мониторинга, диагностики и управления нефтяных скважин RNMT-C // **Известия НАН Азербайджана, сер. Физ.-матем. и техн. наук, том XXXI, № 3, 2011, с. 177-183.**

27. Алиев Т. А., Гулуев Г. А., Пашаев Ф. Г., Садыгов А. Б. Алгоритмы определения коэффициента корреляции и взаимно корреляционной функции между полезным сигналом и помехой зашумленных технологических параметров // **Кибернетика и системный анализ, Киев, 2011, №3 с. 169-178.**

28. Алиев Т.А., Аббасов А.М., Ализаде А.М., Етирмишли Г.Д., Гулуев Г.А., Пашаев Ф. Г. Результаты экспериментов на сейсмоакустической станции на острове «Гум адасы» // **Доклады Национальной Академии Наук Азербайджана, 2011, том LXVII, №1, с. 19-31.**

29. Алиев Тельман, Аббасов Али, Али-заде Акиф, Етирмишли Гурбан, Гулуев Гамбар, Пашаев Фархад. Интеллектуальный мониторинг аномальных сейсмических процессов на острове Песчаный Каспийского моря с использованием робастной помехотехнологии // **«Мехатроника, Автоматизация, Управление» №5, 2011, с. 22-28.**

30. Алиев Т.А., Гулуев Г. А., Рзаев Ас.Г., Пашаев Ф.Г., Юсифов И.Б., Саттаров И.Р. Помехотехнология и система определения дебита нефтяных скважин // **Известия НАН Азербайджана, сер. Физ.-матем. и техн. наук, том XXXI, № 6, 2011, с. 146-153.**

31. Гулуев Г.А., Рзаев Ас.Г., Юсифов И.Б. Анализ современного состояния проблемы измерения дебита нефтяных скважин // **Известия НАН Азербайджана, сер. Физ.-матем. и техн. наук, том XXXI, № 6, 2011, с. 168-179.**

32. Гулуев Г.А. Определение некоторых эксплуатационных характеристик систем контроля и диагностики // **Известия НАН Азербайджана, сер. Физ.-матем. и техн. наук, том XXXI, № 6, 2011, с. 154-161.**

33. Алиев Т.А., Мусаева Н.Ф., Гулуев Г.А., Саттарова У. Э. Помехоиндикация изменения динамического состояния производственных объектов // **Мехатроника, Автоматизация, Управление" №8, 2011 с. 2-4.**

34. Гулуев Г.А., Рзаев А.Г., Алиев Я.Г., Ризванов М.Г., Саттаров И.Р. Интеллектуализированная станция управления станком-качалкой // **Мехатроника, Автоматизация, Управление" №8, 2011, с. 17-20..**

35. Гулуев Г. А., Рзаев А. Г., Саттаров И. Р., Юсифов И. Б. Комбинированный способ измерения дебита нефтяных скважин // **Мехатроника, Автоматизация, Управление" №8, 2011, с. 27-30.**

36. Алиев Т.А., Мусаева Н.Ф., Гулуев Г.А., Саттарова У.Э., Рзаева Н.Э. Система мониторинга периода скрытого перехода компрессорной станции в аварийное состояние // **Проблемы управления и информатики, 2011 г, № 6, с. 61-75.**

37. Алиев Т.А., Аббасов А.М., Бабаев Т.А., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г. Система робастного noise мониторинга сейсмостойкости строительных объектов и зарождения аномальных сейсмических процессов / **Международная выставка и научная конференция «Наука, техника и инновационные технологии в счастливой эпохе могучего государства» Ашхабад, 2012г., изд. «БЫлым» с. 9-11.**

38. Əliyev T.A., Quluyev Q.A., Rzayev A.H., Paşayev F.H., Səttarov I.R., Kazımov N.H. Ştanqlı dərinlik nasosla istismar olunan neft quyuları üçün ölçü, monitoring, diaqnostika və idarəetmə kompleksi // **Azərbaycan neft təsərrüfatı, 2012, №1, s. 54-59.**

39. Рзаев Аб.Г., Гулуев Г.А., Юсифов И.Б. Косвенный метод определения дебита нефти // **Известия высших технических учебных заведений Азербайджана, 2012, №1 (77), с. 79-84.**

40. Алиев Т.А., Аббасов А.М., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г. Система робастного мониторинга сейсмостойкости строительных объектов и зарождения аномальных сейсмических процессов // **Известия НАН Азербайджана, сер. Физ.-матем. и техн. наук, том XXXII, № 3, 2012, с. 23-36.**

41. Гулуев Г.А., Кадымов Р.М., Рзаев Ас.Г., Пашаев Ф.Г. Методика и порядок проведения экспериментов мониторинга ваттметрической информации для контроля глубинно насосных установок // **Известия НАНА, сер. Физ.-мат. и техн. наук, том XXXII, № 3, 2012, с.155-157.**

42. Aliev T.A., Guluyev G.A., Pashayev F.H., Sadygov A.B. Noise monitoring technology for objects in transition to the emergency state // **Mechanical Systems and Signal Processing V. 27, February 2012, pp. 755-762.**

43. Алиев Т.А., Нусратов О.Г., Гулуев Г.А., Рзаев Ас.Г., Гибридная система распознавания неисправностей глубинно-насосных установок

нефтяных скважин / **X межд. Симп. «Интеллекту-альные системы», INTELS' 2012, с. 502-505.**

44. Гулуев Г.А. Робастная система идентификации вибрационного состояния и прогнозирования предстоящих аварийных состояний для компрессорных агрегатов // **Научные Труды НИПИ НЕФТЕГАЗ, 2012, №3, с. 65-70.**

45. Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Алиев Э.Р., Ализаде Т.А., Саттарова У.Э. Технологии Robust-Noise мониторинга скрытого периода изменения сейсмостойкости морских стационарных платформ и эстакад / **«Новые технологии в нефтегазодобыче» II Международная научно-практическая конференция, Тезисы Докладов, Баку, 06-07 сентября 2012, с. 307-309.**

46. Гулуев Г.А. Робастная система идентификации вибрационного состояния и прогнозирования предстоящих аварий для компрессорных агрегатов / **«Новые технологии в нефтегазодобыче» II Международная научно-практическая конференция, Тезисы Докладов, Баку, 06-07 сентября 2012, с. 312-314.**

47. Aliev Telman, Abbasov Ali, Guluyev Gambar, Pashayev Fahrad, Sattarova Ulker. Technologies and Systems for Minimization of Damage from Destructive Earthquakes / **IV International Conference "Problems of Cybernetics and Informatics" Volume II, September 12-14, 2012, Baku, Azerbaijan, pp. 20-33.**

48. Guluyev Gambar, Pashayev Adalat, Pashayev Fahrad, Rzayev Asif, Sabziyev Elkhan. Building the dinamometer card of sucker rod pump using power consumption of the electric motor of Pumping Unit / **IV International Conference "Problems of Cybernetics and Informatics", Volume III, September 12-14, 2012, Baku, Azerbaijan, pp. 19-21.**

49. Aliev Telman, Guluyev Gambar, Rzayev Asif, Gadimov Rauf, Pashayev Fahrad, Yusifov Iltizam, Sattarov Ismat. Noise Technology and System for Determining of Flow Rate of Oil Wells / **IV International Conference "Problems of Cybernetics and Informatics", 2012, Vol. I, pp. 151-153.**

50. Rzayev Abbas, Guluyev Gambar, Agayev Bikes, Abdurrachmanova Asude. Determining Oil Well Debit Using Outlet Temperature Information Processing / **Proceedings of the Sixth International Conference on Management Science and Engineering Management, 2012, Vol. 1, pp. 55-64.**

51. Rzayev Abbas, Guluyev Gambar. Fitting of bimodal droplet size distribution curves in oil preparation // **International Journal of**

**Management Science and Engineering Management 7(2), 2012, pp 128-133.**

52. Aliev T.A., Abbasov A.M., Guluyev G.A., Pashayev F.H., Sattarova U.E. Technologies and systems for minimization of damage from destructive earthquakes // **Seismoforecasting researches carried out in the Azerbaijan territory, Baku 2012, pp. 449-464.**

53. Aliev T., Abbasov A., Guluyev G., Pashayev F., Sattarova U. Intelligent robust distributed system for monitoring and control of seismic stability of high-rise buildings and monitoring of origin of anomalous seismic processes / **The 2nd World Conf. on Soft Computing, December 3-5, 2012, Baku, p. 303-310.**

54. Гулуев Г.А. Интерфейс робастной системы диагностики вибрационного состояния и прогнозирования предстоящих неисправностей в компрессорном агрегате МК-302/2 // **Известия НАНА, Серия физико-технических и математических наук, 2012, том XXXII, №6, с. 147-155.**

55. Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Алиев Э.Р., Ализаде Т.А., Саттарова У.Э. Технологии robust-noise мониторинга скрытого периода изменения сейсмостойкости морских стационарных платформ и эстакад // **Научные Труды НИПИ НЕФТЕГАЗ, 2012, №4, с. 68-75.**

56. Гулуев Г.А., Пашаев А.Б., Пашаев Ф.Г., Рзаев Ас.Г., Сабзиев Э.Н. Алгоритм определения усилия на шток по потребляемой мощности электропривода во время работы станка качалки // **Мехатроника, Автоматизация, Управление" №11, 2012, с. 55-58.**

57. Aliev T.A., Abbasov A.M., Mamedova G.G., Pashayev F.G., Guluyev G.A. Technologies for Noise Monitoring of Abnormal Seismic Processes // **Seismic Instruments, 2013, Vol. 49, No. 1, pp. 64-80.**

58. Гулуев Г.А. Краткий обзор систем диагностики для технических объектов // **Известия НАНА, сер. Физ.-мат. и техн. наук, т. XXXIII, № 3, 2013, с.133-144.**

59. Гулуев Г.А. RNM technologies и нейронная сеть для идентификации вибрационного состояния компрессорного агрегата / **IV ALL-Ukrainian Scientific-Practical conference "Informatics and Systems sciences", Poltava 2013, pp. 76-78.**

60. Ас.Г.Рзаев, Р.М.Кадымов, Ф.Г.Пашаев, Аб.Г.Рзаев, М.Г.Резван, И.Б.Юсифов. Система оперативного контроля работы механизированного фонда нефтяного промысла // **Известия НАНА, сер. Физ.-мат. и техн. наук, т. XXXIII, № 3, 2013, с.118-124.**

61. Гулуев Г.А. Применение нейронной сети для идентификации

вибрационного состояния компрессорного агрегата // **Азербайджанское нефтяное хозяйство, 2013, №1, с. 40-45.**

62. Гулуев Г.А. Современные системы диагностики для технических объектов // **Азербайджанское нефтяное хозяйство, 2013, №5, с. 57-65.**

63. Aliev T.A., Abbasov A.M., Guluyev G.A., Pashaev F.H., Sattarova U.E. System of robust noise monitoring of anomalous seismic processes // **Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 53 (2013) 11-26.**

64. Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Пашаев Ф.Г., Рзаев Ас.Г. «Способ мониторинга технического состояния компрессорного агрегата». **Евразийский патент № 018522.**

**Личный вклад соискателя в трудах, опубликованных в соавторстве:**

[1, 4, 11, 21, 34] - Постановка задачи разработки новых технических средств. Руководство созданием рабочих проектов и технологий применения разработанных средств.

[2, 20, 64] - Участие в разработке формул изобретений, организация вычислительных экспериментов.

[3, 10, 24, 26, 36, 37, 38, 43,63] - Определение алгоритмических основ разработанных систем и комплексов, участие в постановке задач.

[5, 22, 25, 30, 35, 39, 49, 50] - Постановка задачи косвенного определения дебита скважин, определение алгоритмов применения RNM Technologies.

[6, 7, 33, 42] – Участие в обсуждениях, руководство проведением лабораторных, полунатурных и натуральных экспериментов.

[8, 13, 15, 23] - Определение множества индикаторов перехода сложных технических объектов в аварийное состояние.

[9, 18, 27, 57, 63] - Участие в постановке вопросов об использовании коэффициента корреляции и взаимно корреляционной функции между полезным сигналом и шумом как индикатора перехода объектов в аварийное состояние.

[12, 16, 17, 28, 29, 40, 45, 47, 52, 53,55 ] - Участие в постановке вопросов изменяемости сейсмостойкости, разработка алгоритмов применения RNM Technologies.

[14, 19, 41, 48, 51, 56] - Участие в обсуждениях и постановка вопросов, руководство проведением экспериментальных работ.

[31] - Краткий обзор современного состояния проблем измерения дебита нефтяных скважин косвенными методами.

**OBJEKTŁƏRİN QƏZA VƏZİYYƏTİNƏ KEÇMƏSİNİN İLKİN  
DÖVRÜNÜN BAŞLANĞICININ NOİSE MONİTORİNG  
TEKNOLOGİYALARI VƏ SİSTEMLƏRİ  
XÜLASƏ**

Dissertasiya işində obyektlərin qəza vəziyyətinə keçməsinin ilkin dövrünün xüsusiyyətlərini və çətinliklərini nəzərə almaqla qəza vəziyyətinə keçidin noise monitoring texnologiyaları və sistemləri yaradılmışdır. Bu məqsədlə:

Texniki obyektlərin ənənəvi texnologiyaların tətbiqi ilə yaradılan diaqnostika sistemlərinin müasir vəziyyəti araşdırılmış, mövcud diaqnostika sistemlərinin qeyri-adekvat qərarlar qəbul etməsinin və obyektlərin qəza vəziyyətinə keçidinin monitorinqinin çətinlikləri göstərilmişdir.

Obyektlərin qəza vəziyyətinə keçidinin noise monitoring məsələləri araşdırılmış, siqnalların tərkibindəki küylərdən istifadə etməklə qəza vəziyyətinə keçidin noise monitoring məsələləri qoyulmuşdur.

Texniki obyektlərin istismar xarakteristikalarının təyini metodikası işlənmiş və texniki obyektlərin qəza vəziyyətinə keçidinin adekvat monitorinqinə təsir edən faktorlar müəyyənləşdirilmişdir. Qəza vəziyyətinə keçidin spesifik xüsusiyyətləri müəyyənləşdirilmişdir.

Texniki obyektlərin qəza vəziyyətinə keçidin korrelyasiya və spektral indikatorları təyin edilmişdir. Küyün və faydalı siqnalın müxtəlif hallar üçün analiz metodları və texnologiyaları işlənmişdir.

Obyektlərin qəza vəziyyətinə keçidinin başlanğıcının monitorinqi üçün klassik şərtlər pozulduğu halda informativ əlamətlərin təyini texnologiyaları işlənmişdir. Obyektlərin qəza vəziyyətinə keçidinin küylə indikasiyası texnologiyaları işlənmişdir.

Obyektlərin qəza vəziyyətinə keçidinin başlanğıcında Furiye sırası əmsallarının təyini alqoritmləri və qəza vəziyyətinə keçidin başlanğıcının spektral küy indikatorlarının hesablanması alqoritmləri işlənmişdir.

Qəza vəziyyətinə keçməkdə olan obyektlər üzərində qurulmuş ilkin çeviricilərdən alınan siqnalların spektral analizi zamanı yaranan fərqlərin qeyri dəqiqlikləri araşdırılmışdır.

Dissertasiya işində alınmış elmi nəticələrin tətbiqi ilə bir sıra sistemlər yaradılmış və tətbiq edilmişlər.

**TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR NOISE MONITORING OF  
THE BEGINNING OF THE PERIOD OF AN OBJECTS'S  
TRANSITION INTO THE EMERGENCY STATE  
SUMMARY**

Technologies and systems for noise monitoring of the initial period of transition of objects into the emergency state with allowance for the specifics of the process are developed in the thesis. To that end:

State-of-the-art analysis of systems for diagnostics of technical objects based on conventional technologies has been carried out. The reasons of inadequate decision-making and difficulties of monitoring of transition of objects into the emergency state have been analyzed.

Issues of monitoring of transitions of objects into the emergency state have been analyzed, problems of monitoring of transition of objects into the emergency state with application of noise in the signals have been stated.

The methodology for determining the operational characteristics of technical objects has been developed and the factors affecting the adequacy of monitoring of transition of objects into the emergency state have been determined. Specifics of the transition objects into the emergency state have been defined.

Correlation and spectral indicators of the transition of objects into the emergency state have been defined. Technologies and methods for analysis of the noise and the useful signal for various situations have been developed.

Technologies for determining the informative attributes of the monitoring of the beginning of an object's transition into the emergency state in violation of the classical conditions have been developed. Technologies for noise indication of the transition of objects into the emergency state have been defined.

Spectral noise indicators and algorithms for determining Fourier coefficients for the beginning of transition of objects into the emergency state have been defined.

A number of systems based on the results of the thesis has been developed and introduced.