

ИСМАЙЛОВ БАХРАМ ИСРАФИЛ оглы

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-
ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ВИБРАЦИИ
СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Специальность: 3337.01 – Информационно-измерительные и
управляющие системы

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени
доктора философии по техническим наукам

БАКУ – 2014

Работа выполнена на кафедре «Информационно-измерительная и компьютерная техника» Азербайджанской Государственной Нефтяной Академии.

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор

Муратов И.Х.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

Рзаев А.Г.

доктор философии по технике, доцент

Алиев Н.С.

Ведущая организация: Азербайджанский Технический Университет, кафедра «Информатики и Информационных Технологий»

Защита состоится 14 марта 2014 г., в 13⁰⁰ часов на заседании Диссертационного совета Д 01.121 при Институте Кибернетики по адресу: г. Баку, ул. Б.Вахабзаде 9.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института Кибернетики Национальной Академии Наук Азербайджана

Автореферат разослан февраля 2014 года.

Учёный секретарь
диссертационного совета № Д 01.121
доктор философии по математике

Пашаев А.Б.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Важное место в электроэнергетической структуре страны занимают объекты, использующие возобновляемые источники электроэнергии, к которым в первую очередь относятся гидроэлектростанции (ГЭС).

Натурные исследования гидроагрегата ГЭС – сложной технической конструкции, состоящей из гидротурбины, гидрогенератора, вала, связывающего их и системы общих опор, показали, что перечисленное оборудование подвергается влияниям как внутренних, так и внешних возмущающих воздействий в широком диапазоне частотных и амплитудных значений вибрации и имеющих хаотическую природу. Совместное проявление этих воздействий приводит к сложной форме вибрации гидроагрегата (ГА) и его узлов, вызывая в них резонансы, ослабление креплений, износ опор и подшипников, дисбалансы и др., которые в свою очередь становятся новыми источниками вибрации, а их смешивание и взаимовлияние затрудняет выявление первопричины и как следствие, выбор методов по устранению. Кроме того, длительное воздействие вибрации способствует накоплению и росту усталостных напряжений, что приводит к преждевременной поломке или отказу оборудования.

Применяемые на ГЭС методики и технические средства эксплуатационного вибрационного контроля силового оборудования в основном сводятся к измерению технологических параметров работы оборудования и принятию мер по их нормализации. Такая постановка контроля не учитывает факторы, прямо или косвенно влияющие на работоспособность эксплуатируемого силового оборудования, которые позволили бы получить обоснованную и достоверную информацию о его состоянии.

В связи с этим, становится актуальной разработка и внедрение новых методов, средств и алгоритмов проведения многокритериального контроля вибрации силового оборудования ГЭС с позиций протекающих в его узлах и элементах хаотических процессов, сопровождаемых информативной визуализацией и построенных с использованием современных достижений информационных технологий.

Повышение точности, достоверности и наглядности результатов контроля позволят своевременно рекомендовать оптимальный режим работы, что обеспечит максимальное использование ресурса

дорогостоящего уникального оборудования, планировать время и объём ремонтно-профилактических работ, и, в конечном счете, приведёт к повышению эффективности, экономичности и функциональной живучести всей ГЭС.

Цель работы. Целью диссертационной работы является разработка интеллектуальной информационно-измерительной системы (ИИИС) для проведения неразрушающего контроля вибрационных процессов, протекающих в узлах и элементах силового гидравлического, механического и электрического оборудования ГЭС, базирующейся на современных достижениях ИТ.

Для достижения поставленной цели в диссертации поставлены и решены следующие задачи:

- анализ внутренних и внешних вибрационных возмущающих воздействий на силовое оборудование ГЭС с позиций информационного объекта, в котором функционируют модули, взаимосвязанные между собой информационными каналами;
- контроль вибрации с анализом причинно-следственных связей их проявления по предложенной диагностической модели и формализованной модели технологического процесса;
- разработка архитектуры комплекса технических средств контроля вибрации и построение ЭС с формализацией знаний применением методологии нечетких множеств;
- разработка алгоритма «измерение-идентификация-принятие решения» с визуализацией измерительных временных рядов применением нелинейного рекуррентного анализа.

Научная новизна работы.

- предложена формализованная модель технологического процесса объекта контроля;
- обобщены причинно-следственные связи влияния и взаимовлияния вибрации параллельно работающего оборудования при различных режимах работы;
- предложена структурная модель двухуровневой многоцелевой экспертно-аналитической ИИИС контроля вибрационных процессов силового оборудования ГЭС;
- предложена multifunctional экспертная система, генерирующая заключения и рекомендации, на основе измеренных параметров, накопленных знаний и формализованном эксплуатационном опыте;

- предложен алгоритм применения нелинейного рекуррентного анализа вибрационных сигналов для визуального контроля и диагностики неисправностей эксплуатируемого оборудования;
- предложен алгоритм подавления или видоизменения негативного проявления вибрации, основанный на методах управления хаотическими процессами.

Методы проведения исследований базируются на принципах построения устройств проведения неразрушающих измерительных экспериментов на уникальных единичных энергетических объектах, математической статистике, использовании аппарата теории нечётких множеств, методологии искусственного интеллекта, нелинейном рекуррентном анализе. Обработка и визуализация экспериментальных измерительных данных производилась при помощи системы матричной компьютерной математики МАТЛАБ.

Практическая ценность работы.

1. Разработанная система может быть использована для проведения процедур тестирования и проверки корректности работы элементов систем автоматики, управления технологическим процессом и систем защиты.
2. Заключение и рекомендации ЭС позволят проанализировать причинно-следственные связи источников вибрации силового оборудования, а накопленные знания использованы для повышения квалификации персонала.
3. С помощью визуальных образов рекуррентных диаграмм и их характерных особенностей можно классифицировать протекающие процессы и выявлять редко проявляющиеся события.
4. Воздействие на энергоноситель для подавления или видоизменения влияния его негативной вибрационной активности.

Реализация результатов работы. Диссертационная работа выполнена в научно-исследовательской лаборатории «Информатика и автоматизация управления» при кафедре ИИКТ в АГНА в рамках выполнения госбюджетных научно-исследовательских работ (Гос. рег. № 0106 Az 00167).

Полученные в рамках темы диссертационной работы результаты проведённых научно-исследовательских и практических работ были представлены руководству Мингечаурской ГЭС с получением положительного акта.

Результаты научных исследований внедрены в учебный процесс АГНА в виде лабораторных работ и лекционных материалов (имеется акт внедрения).

Апробация работы. Основные теоретические положения и практические результаты работы доложены и обсуждены на: РНК «Современные проблемы информатизации, кибернетики и информационных технологий» (Баку 2003, 2004), МПК «Современные информационные и электронные технологии» (Украина, Одесса 2004, 2006), МК по применению нечётких систем и мягких измерений ICAFS 2006 (Siegen, Germany 2006), МК “Elm və təhsildə informasiya-kommunikasiya texnoloqiyaların tətbiqi” (Баку 2007), МНПК «Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе» (Баку - Сумгаит 2007), МНПК «Информационные технологии и компьютерная инженерия» (Украина, Винница 2010), МК «Проблемы кибернетики и информатики» - RSI'2010 (Баку 2010), МНПК «Перспективы развития информационных технологий» (Россия, Новосибирск 2011), МНПК «Методы и средства кодирования, защиты и сжатия информации» (Украина, Винница 2011), МНПК «Современные информационные системы и технологии» (Украина, Сумы 2012), всемирной конференции по мягким измерениям WConSC'12, (Баку 2012).

Публикации. По результатам диссертационной работы опубликовано 28 печатных работ, из них 1 монография с соавтором, 1 А.С. СССР с соавторами, 10 статей в журналах входящих в список ВАК, из которых 6 зарубежные (2 без соавторов) и 4 республиканские (3 без соавторов), остальные публикации в трудах зарубежных (10) и республиканских (6) конференций.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Диссертация изложена на 163 страницах, основной текст - 130 стр., рисунки – 31 стр., приложения – 2 стр. Список использованной литературы насчитывает - 174 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность и значимость проблемы контроля вибрационных процессов, протекающих в узлах и элементах силового оборудования ГЭС. Определены цели

диссертационной работы по разработке ИИИС контроля вибрационных процессов, базирующихся на современных достижениях ИТ. Описана научная новизна и практическая ценность работы. Приведена информация об апробации теоретических и практических результатов работы.

В первой главе проведён анализ состояния проблемы контроля вибрации на ГЭС. Приведён обзор состава силового и вспомогательного оборудования и систем жизнеобеспечения ГЭС, их назначение и конструктивные особенности. Проведён аналитический обзор известной из литературы и Интернета контрольно-измерительной аппаратуры, от портативных приборов до стационарных - SCADA систем, предназначенных для проведения контроля и анализа вибрации на ГЭС. Проанализированы их технические параметры и конструктивные особенности, возможность применения для контроля и анализа вибрации силового энергетического оборудования с учётом современных требований. Проведён обзор программно-алгоритмических средств и методологических аспектов организации процедур контроля вибрационных процессов.

По результатам проведённых обзоров сформулированы выводы по организации неразрушающего контроля вибрации при поддержке современных методов и аппаратных средств. Отмечена необходимость создания интеллектуальной экспертно-аналитической интерактивной системы контроля вибрации. Применение современных методов визуализации для оценки текущей производственной ситуации и оказание поддержки в принятии решения. Важность практической реализации и использования полученных результатов работы.

Во второй главе приводится описание технологического процесса на ГЭС, показана взаимосвязь и взаимовлияние отдельных блоков и узлов ГА. Рассмотрены и описаны различные эксплуатационные режимы работы ГЭС, сопровождаемые вибрацией ГА его узлов и элементов, как при нормальных режимах работы, так и при отклонениях от нормы. Проанализирована достаточность списка информативных параметров, контролируемых штатной контрольно-измерительной аппаратурой. На примерах записей пульсаций крутящего момента на лопатках направляющего аппарата ГА, при различных режимах работы, показаны сложные динамические

процессы, протекающие в нём и необходимость тщательной обработки измерительной информации.

Проведён анализ и классифицированы возмущающие силы и моменты, вызывающие вибрацию в узлах оборудования при установившихся и неустановившихся режимах и резонансах.

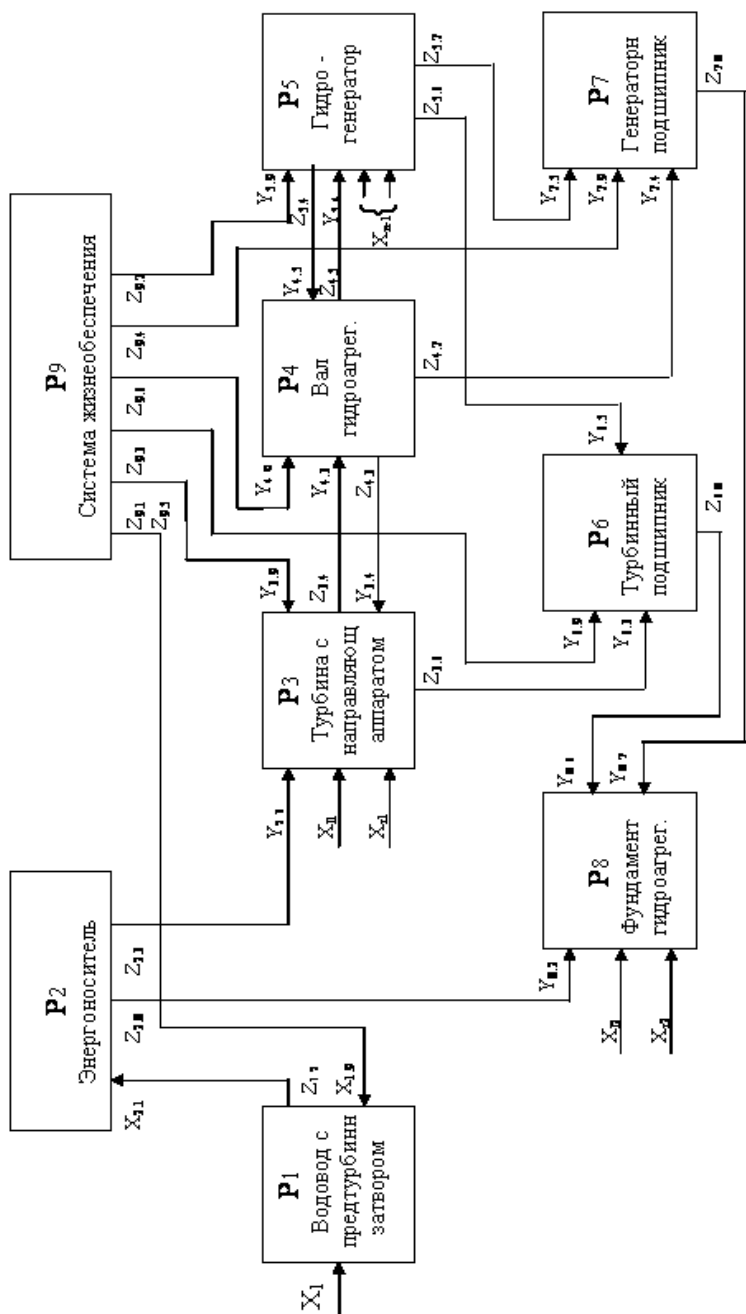
Рассмотрены и проанализированы информативные параметры оценки основных показателей технического состояния ГА, позволяющие диагностировать и определять его неисправности. Обоснована необходимость совокупной оценки различных показателей, позволяющей оценить состояние контролируемого объекта, выработать рекомендации по дальнейшей эксплуатации и планированию ремонтно-профилактических работ.

Рассмотрен парк датчиков измерительной информации, используемых штатно и современных, необходимых для сбора информации при проведении контроля.

Приведены и обоснованы основные требования для проведения измерительных экспериментов, обработки и визуализации результатов контроля и анализа, создание базы знаний о возможных дефектах, выработка рекомендаций для ЛПР.

Проведён анализ источников погрешностей и влияние их на точность и достоверность измерения вибрационных сигналов контролируемого объекта. Обоснована актуальность и необходимость анализа причинно-следственных связей при контроле вибрации силового оборудования ГЭС.

Третья глава посвящена разработке алгоритмов контроля и анализа вибрации оборудования ГЭС. Приведено описание диагностической модели, включающей требования к построению эргатических интеллектуальных систем контроля вибрации, направленных на выявление причин, влияющих на функциональную живучесть исследуемого объекта. Предложена формализованная модель технологического процесса, представленная в виде 9-ти взаимосвязанных основных блоков, (рис. 1), позволяющая выявить связи влияния и взаимовлияния между отдельными частями силового оборудования ГА. Каждый из перечисленных блоков подвергается влияниям входных, (как внутренних, так и внешних воздействий) в



ответ на которые им генерируются выходные возмущающие воздействия. На схеме входные внешние воздействия обозначены как - $x_{i,n}$; входные внутренние воздействия - $y_{i,n}$ и выходные возмущающие воздействия - $z_{i,n}$, при этом входной и выходной сигналы блока характеризуются одним или несколькими физическими параметрами взаимодействия.

Внешнее влияние на блоки Р3 и Р8 показано в виде возмущающих воздействий механического и гидравлического происхождения от работающих ГА, расположенных с правой и левой стороны от контролируемого. Блок Р5 подвергается влияниям внешних воздействий электромагнитного происхождения от параллельно работающих ГА, состояния линий электропередач и режимов энергопотребления.

Принимая во внимание, что Р3, Р4 и Р5 объединены в единую конструкцию, следует учесть взаимное влияние вибрационных процессов в каждом из них: в частности выходные воздействия от Р3 - $z_{3,4}$ и Р4 - $z_{4,5}$, являются входными для Р4 - $y_{4,3}$ и Р5 - $y_{5,4}$. В спектре вибрационного сигнала гидротурбины Р3 присутствуют составляющие возмущающих воздействий от ГА, расположенных с левой и правой стороны - x_{l1} и x_{r1} , а на спектр вибрационной картины генератора Р5 накладываются вибрационные составляющие, имеющие электромагнитное происхождение, от параллельно работающих агрегатов ГЭС - x_{n-1} . Возмущающие воздействия от Р3, Р4 и Р5 - $z_{3,6}$, $z_{4,7}$, $z_{5,6}$ и $z_{5,7}$ передаются блокам Р6 и Р7 - $y_{6,3}$, $y_{6,5}$, $y_{7,4}$ и $y_{7,5}$, которые генерируют воздействия $z_{6,8}$ и $z_{7,8}$ воспринимаемые от них блоком Р8 в виде - $y_{8,6}$ и $y_{8,7}$.

В спектрах вибрационных сигналов блоков Р6 и Р7 присутствуют составляющие от гидродинамических, механических и электромагнитных нагрузок ГА. Блок Р9, обеспечивающий управление режимами работы затворов и лопаток направляющего аппарата ГА и снабжение всех блоков системы маслом, водой и воздухом высокого и низкого давлений для поддержания технологических режимов жидкостного трения и охлаждения.

На основе предложенной модели разработан базовый алгоритм работы ИИИС контроля и анализа вибрации ГА.

Приведено описание методологии проведения визуального анализа динамической системы, построения рекуррентных диаграмм. Приведён и описан алгоритм «измерение – идентификация – принятие

решения» для решения задач при контроле и анализе сложных эксплуатационных ситуаций.

Четвёртая глава посвящена разработке структуры ИИИС для контроля вибрационных процессов (рис.2), приведено её описание. Обоснован выбор двухуровневой тандемной системы сбора и обработки измерительных данных, учитывающий территориальную рассредоточенность узлов контролируемого объекта, разнообразие и большой объём информативных параметров.

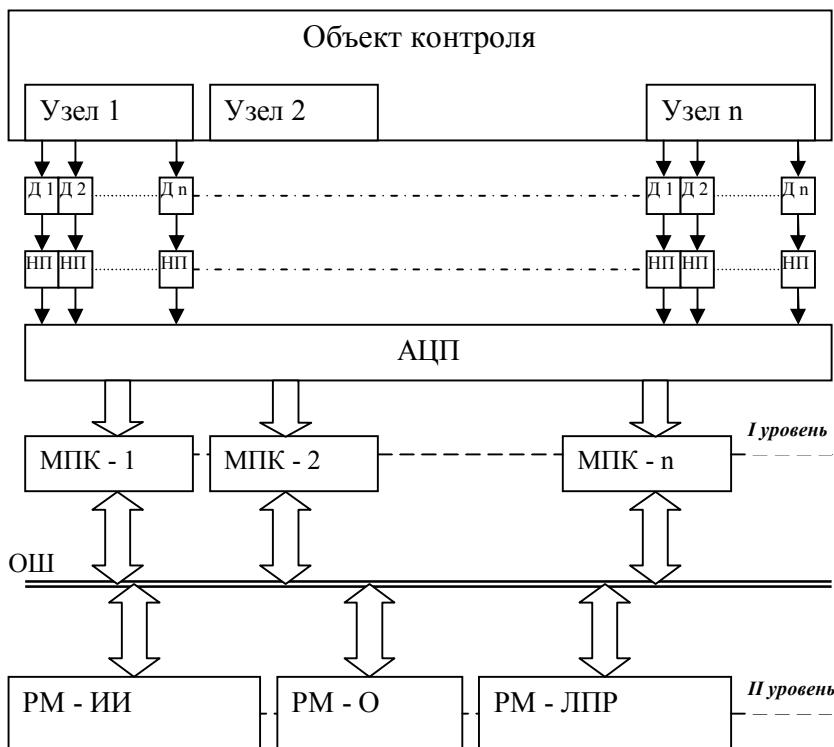


Рис.2 Структура модели системы контроля вибрации.

Структурно система состоит из двух уровней, нижнего уровня аппаратных средств сбора первичной информации и верхнего уровня, реализующего анализ и интеллектуальную интерпретацию наблюдаемой эксплуатационной ситуации.

Такая структура обладает повышенными показателями по обеспечению надёжности. В пользу децентрализации функций измерения, контроля и анализа говорит также факт значительной территориальной рассредоточенности узлов и агрегатов энергетического объекта, подверженных вибрации и её помехозащищённость.

Нижний уровень системы включает парк датчиков, нормирующую и согласующую аппаратуру, аналого-цифровые преобразователи и микроконтроллеры.

На локальные микроконтроллеры возложены функции по синхронизации и управлению сбором и обработке сигналов от датчиков, первичная обработка измерительной вибрационной информации, накопление статистической информации, её агрегирование и подготовка к пересылке по локальной сети на второй уровень системы.

Второй, верхний уровень системы реализован средствами персональных компьютеров с тандемной системой контроля и принятия решений, оперирующей программными модулями детерминированной обработки информации и модулями искусственного интеллекта, с базами данных и знаний. На входящие в состав верхнего уровня ПК возлагаются функции по координации работы локальных микроконтроллеров, интеграцию всей информации о реальной технологической ситуации, контроль и диагностику состояния оборудования и генерация обоснованных рекомендаций на её основе по дальнейшей эксплуатации для оператора (РМ – О) и лица принимающего решение (РМ – ЛПР).

Отличительной особенностью предлагаемой системы является ввод в её состав человеческого и машинного интеллекта, в виде рабочего места инженера-исследователя (РМ-ИИ), творчески участвующего в процессе контроля, анализе и интерпретации создавшейся ситуации, а также экспертной системы с базами данных и знаний, сценариями зафиксированных событий и формализованным опытом экспертов.

Конечным результатом работы системы, на основе накопленных данных и знаний, является выработка заключений о состоянии контролируемого объекта и генерация обоснованных рекомендаций по устранению или уменьшению проявления вибрации изменением или корректировкой режима эксплуатации, локализация неисправного узла или элемента конструкции.

Приведены и описаны основные режимы работы разработанной системы: «тест», «контроль и диагностика» и «сервис». В режиме «сервис», рассмотрены вопросы применения ИИИС для обучения, аттестации и тренинга персонала.

Пятая глава посвящена реализации задач вибрационного контроля по разработанным алгоритмам. Приведено описание работы экспертной системы контроля вибрации в режиме «контроль и диагностика». Показан пример работы ЭС по контролю и диагностике неисправности в работе гидрогенератора. Приведены принципы использования ресурсов ЭС в режиме «сервис» для обучения, тренинга и аттестации персонала ГЭС.

Показаны примеры применения нелинейного рекуррентного анализа и его преимущества при визуальном контроле экспериментальных вибрационных сигналов. В ряду отличительных особенностей нелинейного рекуррентного анализа отмечены такие, как возможность, по одному измерению восстановить фазовую траекторию процесса, а по топологии и текстуре рекуррентных диаграмм охарактеризовать протекающие процессы.

Построенные рекуррентные диаграммы дополняют контрольно-измерительную информацию и заключения экспертной системы в поддержку принятия решения при сложных эксплуатационных ситуациях.

На рис. 3 и 4 представлены образы рекуррентных диаграмм вибрационных сигналов на лопатках направляющего аппарата для турбинного и разгонного режимов работы ГА. Кроме того, с позиций управляемости сложных систем, в которых протекают хаотические процессы, предложен алгоритм «измерение-идентификация-принятие решения» для генерации воздействия на энергоноситель с целью ослабления или подавления опасных, установившихся и других негативных вибрационных процессов.

На рис. 5 показан визуальный образ рекуррентной диаграммы, позволяющий обнаружить сбой в канале связи при передаче измерительной информации. Этот участок выделен квадратом. На рис. 5г показан увеличенный фрагмент сбойного участка сигнала, где он явно просматривается в виде двух отрезков, располагающихся параллельно линии идентичности РД.

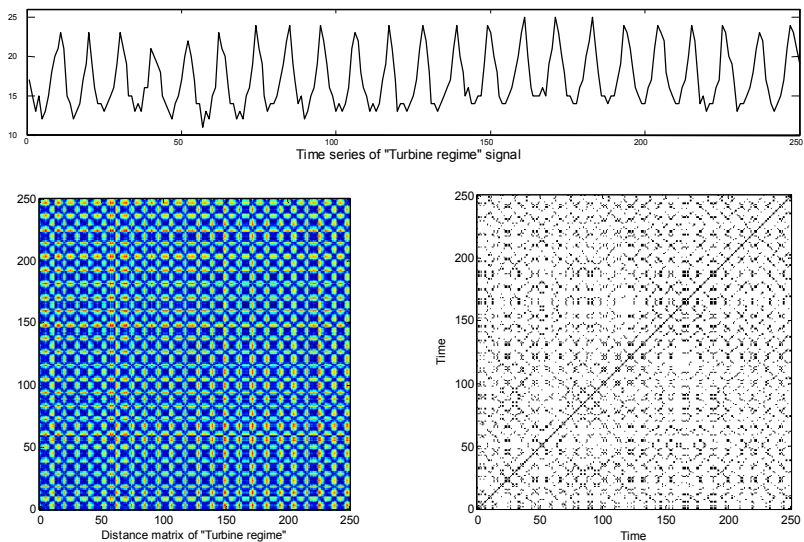


Рис.3. Вибрация при турбинном режиме ГА.

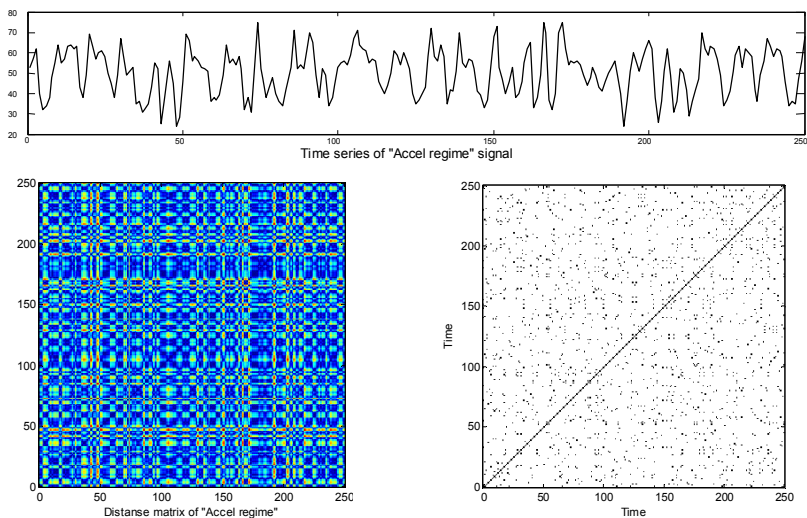


Рис.4. Вибрация при разгонном режиме ГА.

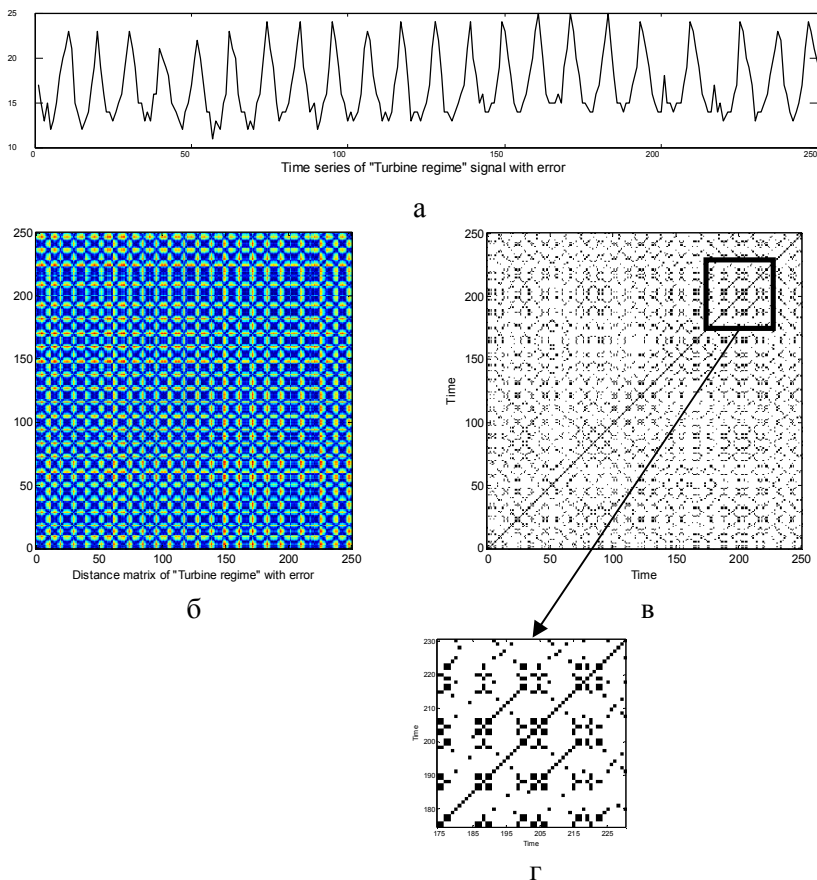


Рис.5 Сбой на сигнале турбинного режима.

По классификации текстуры это говорит о повторении сегмента траектории, т.е., траектория повторяет саму себя, возвращаясь в одну и ту же область фазового пространства в разное время, однако в нашем случае это признак скрытого сбоя в канале связи в виде повторной передачи одних и тех же данных.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведённый анализ вибрации силового оборудования ГЭС, выявивший их источники и природу позволил сформулировать требования к ИИС по контролю вибрации.

2. Исследование известных систем контроля вибрации выявило их ограниченные возможности с позиций достижений ИТ, в связи с чем, сформулированы требования к разработке ИИИС контроля вибрации.
3. Предложенная диагностическая модель и формализованная модель технологического процесса позволили систематизировать требования к ИИИС по выявлению причинно-следственных связей влияния и взаимовлияния вибрации узлов силового оборудования.
4. Предложена модель архитектуры системы вибрационного контроля, позволяющая контролировать состояние объекта исследования, учитывающая специфическое расположение оборудования.
5. Предложен алгоритм работы системы контроля вибрации, позволяющий производить сбор, обработку и накопление данных и знаний, визуализацию результатов контроля, интерпретацию процессов и генерацию заключений-рекомендаций.
6. Предложено применение методологии искусственного интеллекта, нелинейного рекуррентного анализа и информативной визуализации позволившие повысить оперативность, достоверность и удобство контроля, а также оказать поддержку при принятии решения в сложных ситуациях и использовать как наглядное пособие для персонала ГЭС.
7. Предложен метод воздействия на энергоноситель для подавления или видоизменения влияния его негативной вибрационной активности.
8. Эффективность разработанных алгоритмов, методик и система контроля подтверждена в производстве и рекомендованы к применению (Мингечаурская ГЭС). Разработанные алгоритмы и программы также были применены в учебном процессе (АГНА). Намечены основные цели дальнейшего усовершенствования систем контроля вибрации силового оборудования ГЭС с позиций синергетических принципов их взаимодействия.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Тургиев Э.А., Вигдоров Д.И., Исмаилов Б.И. и др., «Микропроцессорный анализатор случайных процессов». // Приборы и Системы Управления. Москва, 1984, №3, с.34.
2. Тургиев Э.А., Исмаилов Б.И., Гержой В.С. «Программно-аппаратная структура интерактивного микро ИВК». / Тезисы докладов областной конференции "Микропроцессорные системы и персональные компьютеры". Смоленск, 1985, с. 34-35.
3. Дольников Л.Л., Исмаилов Б.И., Томашевский Б.А. «Аппаратура и методика статистического экспресс-анализа случайных процессов», Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. Сборник научных трудов том 184, Л.: 1985, с.71-77.
4. Алиев Т.М., Тургиев Э.А., Исмаилов Б.И. и др., «Адаптивное устройство для масштабирования», АС. СССР №1156091, 1985.
5. Дольников Л.Л., Шрагин Н.В., Исмаилов Б.И. «Методика прогнозирования долговечности элементов гидромеханического оборудования с использованием аппаратурных средств для оперативного статистического анализа». / Материалы конференций и совещаний по гидротехнике «Повышение надёжности энергетических сооружений при динамических воздействиях». Л.: Энергоатомиздат, 1989, с. 28-32.
6. Муратов И.Х., Исмаилов Б.И. «Виброконтроль энергетического оборудования». / Труды РНК «Современные проблемы информатизации, кибернетики и информационных технологий». Баку, 2003, т.1, с.150-153.
7. Муратов И.Х., Исмаилов Б.И. «Интеллектуальная система вибромониторинга энергетического объекта». / Труды V МНПК «Современные информационные и электронные технологии». Украина, Одесса, 2004, с. 52.
8. Муратов И.Х., Исмаилов Б.И. «Диагностическая модель энергетического объекта в задачах вибромониторинга». / Труды II РНК «Современные проблемы информатизации, кибернетики и информационных технологий» Баку, 2004, с. 137-139.
9. Муратов И.Х., Исмаилов Б.И. «Формализация технологической схемы энергетического объекта в системе его вибромониторинга» / Изв. Высш. Технич. завед. Азербайджана. Баку, 2006, №2, с. 67-72.
10. Муратов И.Х., Исмаилов Б.И. «Организация измерительного эксперимента в задачах построения системы виброконтроля

оборудования ГЭС». / Труды седьмой МНПК «Современные информационные технологии». Украина, Одесса, 2006, с.26.

11. Abdullaev T.S., Aliev B.F., Ismailov B.I. et al. « Fuzzy expert system ESPLAN and its applications in business, medicine and technics». / Seventh international conference on application of fuzzy systems and soft computing. Siegen, Germany ICAFS 2006, pp.205-214.

12. Исмаилов Б.И. «Экспертная система контроля вибрации энергетического объекта в обучении, аттестации и тренинге». / Научные и педагогические известия университета «Одлар Юрду» Баку, 2007, №18, с.105-111.

13. Муратов И.Х., Исмаилов Б.И. «Интеллектуальная контрольно-диагностическая система вибрации элементов энергетического объекта». / Материалы II МК “Elm və təhsildə informasiya-kommunikasiya texnoloqiyaların tətbiqi”. Баку, 2007, т.1, с.133-135.

14. Муратов И.Х., Исмаилов Б.И. «Применение методологии искусственного интеллекта при вибромониторинге энергетического оборудования». / Тр. VI МНПК «Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе» МЭПП, Баку – Сумгаит, 2007, с.148-150.

15. Исмаилов Б.И. «Диагностическая экспертная система вибрации оборудования энергетического объекта» Научные известия Сумгайытского ГУ, Сумгаит, 2007, т. 7, №3, с.94-99.

16. Исмаилов Б.И. «Контроль вибрации силового оборудования гидроэлектростанции, учитывающий их причинно-следственные связи». / Научные труды – фундаментальные науки. Азербайджанский ТУ, Баку, 2009, т. 8 (29), №1, с.12-16.

17. Исмаилов Б.И. «Система поддержки принятия решения при эксплуатационном контроле вибрации силового оборудования гидроэлектростанций». / Научно-технический сборник. Серия «Общие вопросы радиоэлектроники. Вып.1», Москва – Таганрог, 2009, с.107-113.

18. Владимирский Э.И., Исмаилов Б.И. Синергетические аспекты нелинейного рекуррентного анализа хаотической информации. / Тезисы докладов МНПК «Информационные технологии и компьютерная инженерия», Украина, Винница, 2010, с. 96-97.

19. Исмаилов Б.И. Контроль и анализ вибрационных сигналов по рекуррентным диаграммам. Тез. докл. МНПК «Информационные технологии и компьютерная инженерия», Винница, 2010, с. 143.

20. Ismailov B.I. Recurrence analysis of hydroelectric power station force equipment vibration signals. / The third International conference "Problems of cybernetics and informatics" Vol. III. Baku, PCI'2010. –pp. 221-224.
21. Исмаилов Б.И. «Нелинейный рекуррентный анализ в задачах управления пространственно-распределёнными хаотическими системами». / Труды III ежегодной МНПК «Перспективы развития информационных технологий» Новосибирск, 2011, с.49-54.
22. Исмаилов Б.И. «Графический пользовательский интерфейс ИИС контроля вибрации». / Тр. МНПК «Методы и средства кодирования, защиты и сжатия информации». Украина, Винница, 2011, с.166-167.
23. Владимирский Э.И., Исмаилов Б.И. «Нелинейный рекуррентный анализ как математическая модель управления хаотическими процессами». // Информационные технологии, Москва, 2011, №5, с. 42-45.
24. Владимирский Э.И., Исмаилов Б.И. «Синергетические методы управления хаотическими системами». Баку.: ЭЛМ, 2011, 240с.
25. Владимирский Э.И., Исмаилов Б.И. «Синхронизация в управлении хаотическими системами». // Информационные технологии, Москва, 2012, №1, с.16-19.
26. Исмаилов Б.И. Контроль и управление вибрационными процессами в оборудовании гидротехнических устройств. / Материалы I МНПК. Сумы, Украина, 2012, с.146.
27. Исмаилов Б.И. Визуальный контроль вибрации динамической системы. / «Восточно-Европейский журнал передовых технологий». Украина, Харьков. №5, 2012, с.25-30.
28. Ismailov B.I. Visualization of Measuring Experiments in a Context of Acceptance of the Decisions. / 2nd world conference on soft computing. WConSC'12. Baku, December 3-5, 2012. pp. 97-102.

Вклад соискателя в работы, опубликованные в соавторстве:

- [1-5] – разработка и изготовление устройств сбора, обработки и отображения измерительной информации;
- [5-10] - анализ и систематизация информативной эксплуатационной вибрационной информации;
- [7,10,13,24] – разработка системы и алгоритмов контроля вибрации силового оборудования;
- [11,14,] – разработка ЭС контроля вибрации;
- [18,23-25] – разработка алгоритмов визуализации и визуального контроля вибрационных процессов.

HİDROELEKTRİK STANSİYANIN GÜC AVADANLIĞININ
TİTRƏYİŞİNƏ NƏZARƏT EDƏN İNTELLEKTUAL
İNFORMASIYA-ÖLÇMƏ SİSTEMİ

XÜLASƏ

Dissertasiya işində hidroelektrik stansiyanın (HES) güc avadanlığının hissələrində və elementlərində axan titrəmə proseslərin nəzarətinin aktuallığı əsaslandırılmışdır. Nəzarətin nəticələrinin dəqiqliyinin artırılması, dürüstlüyü və təsviri üçün informasiya texnologiyalarının müasir nailiyyətlərinin istifadəsi zərurəti əsaslandırılmışdır. HES-n güc avadanlığının hissələrinin və elementlərinin titrəməsinin nəzarətinə aid məlum olan cihazların, nəzarət sistemlərinin və metodikaların analizi keçirilmişdir. Hidroaqrəqatın müxtəlif istismar iş rejimləri vaxtı titrəməyə səbəb olan hiddətləndirən qüclər və qüvvələr sistemləşdirilib və təsnif edilmişdir.

Texnoloji sxemin əsasında təklif edilmiş formallaşdırılmış modelin köməyi ilə avadanlığın titrəməsinin səbəb - nəticə əlaqələri və qarşılıqlı təsirinin təhlili araşdırılmışdır. HES-in güc avadanlığının titrəməsinə nəzarət edən ikisəviyyəli çoxməqsədli analitik İİÖS-nin struktur modeli təklif edilmişdir. İMÖS-n tərkibinə ölçülmüş texnoloji parametrlərin, toplanmış biliklərin və formallaşdırılan istismar təcrübəsi əsasında nəticələri və tövsiyələri yaradan ekspert sistem daxil edilmişdir.

Ölçülmüş titrəmə signallarının qeyri-xətti rekurrent analizin, qeyri-ənənəvi vizuallaşdırmasıyla yanaşı və vizual düşüncə vasitəsi ilə axan prosesləri izah edərək qərarın qəbul olunmasına kömək olaraq tətbiqlərinin nəticələri göstərilmişdir.

Yığılmış istismar məlumatları, BB-da toplanmış biliklər, həmçinin rekurrent diaqramların təsvirləri xidmət edən personalın təhsilində, təlimində və attestasiyası vaxtı istifadə edilə bilirlər.

SUMMARY

INTELLECTUAL INFORMATION-MEASURINGN AND
MONITORING SYSTEM OF VIBRATION OF THE POWER
EQUIPMENT OF HYDROELECTRIC STATION

In dissertation work the urgency of the control of vibrating processes proceeding in units and elements of the power equipment of hydroelectric power station (HPS) is proved. The necessity of increase of accuracy, reliability is proved, of presentation of results of the control and use for this purpose of modern achievement of information technologies is proved. The analysis of known devices, monitoring systems and techniques under the analysis of vibration of units and elements of the power equipment of HPS is carried out. Are classified and the revolting forces and moments causing vibration at various operational modes of operations of the hydro unit are described.

The formalized model of technological process of object of the control is offered, on the basis of which the relationships of cause and effect of influence and interactive faults of vibration of the equipment are analyzed. The structural model two-level multi-purpose expert-analytical IIMS of the control of vibrating processes of the power equipment of HPS is offered.

The expert system generating the conclusions and the recommendation on the basis of measured technological parameters, saved knowledge, and formalized operational experience is included in structure of system. The results of application nonlinear recurrence analysis of the measured meanings of vibrating signals allowing, alongside with their no conventional visualization, by means of visual thinking are given to interpret proceeding processes in support of acceptance of the decision.

Assembled operational given, the knowledge saved in database and also images of recurrence plots can be used in education, training and certification of the attendants.

İSMAYILOV BƏHRAM İSRAFİL OĞLU

**HİDROELEKTRİK STANSİYANIN GÜC AVADANLIĞININ
TİTRƏYİŞİNƏ NƏZARƏT EDƏN İNTELLEKTUAL
İNFÖRMASİYA-ÖLÇMƏ SİSTEMİ**

Ixtisas: 3337.01 – İnformasiya-ölçmə və idarəetmə sistemləri

Texnika elmləri üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKİ – 2014