**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**

**КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Б.Н.ЕЛЬЦИНА**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**Диссертационный совет Д.05.14.488**

**На правах рукописи**

**УДК 681.51: 621.311 (575.2) (043.3)**

**БАКАСОВА АЙНА БАКАСОВНА**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ КЛАССА СИСТЕМ С НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКОЙ И САМООРГАНИЗАЦИЕЙ**

|  |  |
| --- | --- |
| Специальность 05.13.01 – | Системный анализ, управление и обработка информации |

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени

доктора технических наук

Бишкек – 2015

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

|  |  |
| --- | --- |
| **Научный консультант:** | академик НАН КР,  заслуженный деятель науки и  техники Кыргызской Республики **Шаршеналиев Ж.Ш.** |
| **Официальные оппоненты:** | доктор физико-математических наук,  профессор, член-корр. НАН РК  **Калимолдаев М.Н.**  **(ИИВТ КН МОН РК)**  доктор физико-математических наук,  профессор, член-корр. НАН КР  **Панков П.С. (ИТПМ НАН КР)**  доктор технических наук,  профессор  **Ерёмин Е.Л. (Амурский ГУ РФ)** |
| **Ведущая организация:** | Кыргызский научно-технический центр по энергетике (КНТЦ «Энергия») 720055, г. Бишкек, ул. Ахунбаева, 119 |

Защита состоится 15 мая 2015 г. в часов на заседании Диссертационного совета Д.05.14.488 в Институте автоматики и информационных технологий Национальной Академии наук Кыргызской Республики по адресу: 720071, г. Бишкек, проспект Чуй, 265, ауд. 118.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национальной Академии наук Кыргызской Республики по адресу: 720071, г. Бишкек,

проспект Чуй, 265 «а».

Автореферат разослан 13 апреля 2015 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета к.ф.-м.н. Г.К. Керимкулова

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы.** Научно-технический прогресс обусловил возникновение новых классов технических систем, которые усложняются по мере увеличения количества элементов и связей между ними. К таким классам систем относятся электромеханические и электроэнергетические системы, характеризующиеся огромным количеством переменных и параметров, наличием большого числа перекрестных связей. Большинство методов теории управления здесь наталкиваются на непреодолимое препятствие – многомерность, многосвязность, неопределенность, нелинейность и колебательность процессов в этих системах, где протекают сложные переходные, бифуркационные и хаотические процессы.

В связи с этим задачи синтеза законов управления такими системами являются актуальными, чрезвычайно сложными и практически недоступными для многих методов автоматического управления существующих в электроэнергетической системе (ЭЭС).

Изучению и исследованию таких сложных систем посвящены труды многих выдающихся ученых в области:

* теории автоматического управления (ТАУ), синергетической теории управления (СТУ), прикладной математики: А.Пуанкаре, А.М.Ляпунов, Н.Н.Боголюбов, Б.Ван-дер-Поль, А.А.Андронов, Н.Крылов, А.Н.Тихонов, Е.Хопф, Г.Хакен, Б.П.Белоусов, А.М.Жаботинский, И.Пригожин, Ю.Л.Климонтович, Б.Б.Кадомцев, А.А.Самарский, А.С.Давыдов, Э.Лоренц, А.А.Колесников и другие;
* теории динамических переходных процессов и устойчивости ЭЭС, ТАУ синхронными машинами: М.Костенко, А.Горев, Р.Парк, М.М.Ботвинник, В.Веников, И.Литкенс, Н.Андерсон, А.Фуад, П.Жданов и другие. А также существенные результаты в области теории управления и информатики получены в исследованиях ученых Кыргызстана: Ж.Шаршеналиева, В.П.Живоглядова, Р.О.Оморова, У.Н.Бримкулова, Я.И.Рудаева, П.С.Панкова, Н.С.Адигамова.

В традиционных алгоритмах управления ЭЭС игнорируются или недостаточно учитываются нелинейности энергообъектов (ЭО), каналы управления синхронного генератора (СГ) и турбины рассматриваются автономно. Такие вынужденные искусственные приемы вызваны ограниченными возможностями известных методов классической ТАУ. Существующие методики управления ЭЭС до настоящего времени показали свою эффективность, но их применение во все более развивающихся и расширяющихся структурах современной ЭЭС порождает определенные проблемы: линейные регуляторы сужают область динамической устойчивости, ЭЭС работают в критических режимах, возникают системные аварии. Поэтому проблемы решения задачи эффективного управления ЭЭС, требуют использования как методов классической ТАУ, так и новых подходов в исследовании таких систем.

Одним из таких подходов является синергетический подход в современной теории управления, впервые разработанный в начале 80-х годов XX века основателем концепции единства процессов самоорганизации и управления (КЕПСУ), профессором А.А.Колесниковым. Его научной школой предложена принципиально новая СТУ, опирающаяся на фундаментальное свойство самоорганизации природных диссипативных систем.

Данная диссертационная работа посвящена исследованию проблем динамической устойчивости и управления современными ЭЭС, в которых возникают критические и, при определенных условиях, хаотические режимы, и разработке вычислительных алгоритмов управления ЭО с нелинейной динамикой и самоорганизацией. Для организации управления и воздействия на хаотические процессы в ЭЭС необходимо разработать целостную систему предупреждения и устранения негативных явлений, порождаемых нелинейностью системы. Эта проблема актуальна в условиях рынка энергоресурсов и усложнения топологии сетей генерации и передачи электроэнергии и с увеличением нагрузки на элементы ЭЭС.

Таким образом, актуальность темы исследования определяется необходимостью разработки вычислительных алгоритмов нелинейных законов управления (векторных регуляторов), которые позволили бы управлять в частности поведением гидрогенераторов по их полным нелинейным моделям с каналами взаимосвязанного согласованного управления активной и реактивной мощностью ЭЭС, с учетом подавления внешних и внутренних возмущений.

**Настоящая диссертационная работа выполнена в рамках работ,** проводимых в соответствии с планами НИР Института автоматики и информационных технологий НАН КР по проектам: «Разработка методов и алгоритмов управления сложными динамическими объектами, создание автоматизированных дистанционных систем компьютерной обработки информации» (госрегистрация № 0005078), «Исследование и разработка динамических SISO и MIMO систем с особенностями в управлении и самоорганизации, создание автоматизированной дистанционной системы с предоплатой за потребление электроэнергии» (госрегистрация № 0006138) и «Разработка нелинейной динамической системы управления режимами работы гидроагрегата, основанной на принципах самоорганизации» (госрегистрация № 0007100).

**Цель диссертационной работы –** решение задач управления классом систем с нелинейной динамикой и самоорганизацией, которые возникают во многих отраслях живой и неживой материи, в частности, в электроэнергетической отрасли, что повышает эффективность, устойчивость и расширяет функциональные возможности этих систем.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

* исследование проблемы динамической устойчивости и задачи управления режимами современными ЭЭС с использованием теории катастроф;
* разработка способов идентификации поведения перемежающейся электрической дуги, с целью уточнения ее модели;
* разработка системы с элементами АСНИ и интеллектуальным датчиком, обеспечивающей управление режимами работы распределительной сети 6-35кВ;
* на примере базовой модели Чуа с хаотической динамикой разработать процедуру синтеза законов управления для нелинейных ЭО ЭЭС;
* системный анализ методов управления активной и реактивной мощностью синхронными генераторами, а также исследование их моделей;
* синтез законов управления для энергоагрегата «турбина-синхронный генератор» по методу аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР) СТУ;
* синтез нелинейного наблюдателя возмущений для нелинейного объекта;
* синтез законов взаимосвязанного управления гидротурбиной и синхронным генератором, обеспечивающего выполнение технологических инвариантов и подавление внешнего и параметрического возмущений;
* разработка и создание новых способов и устройств управления сложных ЭО.

**Объект исследования.** Объекты с нелинейной и хаотической динамикой,сложная электроэнергетическая система и энергообъекты.

**Методы исследования.** При решении поставленных задач в работе использовались методы классической ТАУ и современной нелинейной динамики и синергетики, методы СТУ и теории дифференциальных уравнений, а также методы математического моделирования динамических систем (ДС). При проведении этапов синтеза моделировании и разработки вычислительных алгоритмов управления использовались прикладные пакеты программ Maple, Elcut, MatLab и Electronics Workbench.

**Научная новизна** теоретических положений и результатов экспериментальных исследований, полученных автором, состоит в следующем:

* предложен вычислительный алгоритм законов управления методом АКАР для нелинейных ЭО с хаотической динамикой, описываемой электротехнической моделью Чуа;
* синтезированы законы управления гидротурбиной и синхронным генератором на основе метода АКАР СТУ в программной среде Maple, обеспечивающие стабилизацию напряжения и синхронную работу с сетью, подавление внешнего и параметрического возмущений (параметрическую робастность);
* синтезированные законы нелинейного адаптивного управления гидрогенератором на основе введения инвариантных многообразий в систему, обеспечивают подавление внешних и параметрических возмущений без их оперативной идентификации с помощью наблюдателей;
* построена модель перемежающейся дуги в схемах замещения электрической сети с изолированной нейтралью 6-35 кВ;
* предложен способ приведения уравнения движения ротора СГ к одному из семи видов элементарных катастроф и новый качественный подход исследования устойчивости работы ЭЭС;
* предложен способ и конструктивно разработаны технические решения устройств ЭО: «Многофункциональный измерительный трансформатор» (патент №1630), «Способ стабилизации частоты вращения ротора автономной микроГЭС» (положительное решение на изобретение № 20140114.1 от 18.09.2014г.), «Саморегулирующий адаптивный маховик для генераторов автономных микроГЭС» (положительное решение на изобретение № 20140113.1 от 18.09.2014г.).

**Практическая значимость полученных результатов:**

* разработан вычислительный алгоритм законов стабилизирующего управления для ЭО, на примере электротехнической модели Чуа с хаотической динамикой;
* разработан многофункциональный преобразователь тока (МПТ), предназначенный для службы релейной защиты и автоматики, который обеспечивает селективную защиту от однофазных замыканий на землю распределительной сети 6-35кВ;
* разработан новый эффективный способ управления и стабилизации частоты вращения ротора автономной микроГЭС;
* разработано устройство «Саморегулирующий адаптивный маховик для генераторов автономных микроГЭС» на основе нового способа стабилизации частоты.

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

* качественный подход оценки динамической устойчивости, основанный на применении теории катастроф применительно к ЭЭС;
* модель дугового замыкания перемежающейся дуги в схемах замещения электрической сети с изолированной нейтралью 6-35 кВ;
* интеллектуальный датчик нового типа - МПТ, обеспечивающий непрерывной информацией режимов работы распределительной сети 6-35кВ;
* вычислительный алгоритм синтеза законов стабилизирующего управления методом АКАР СТУ электротехнической модели Чуа для ЭО с хаотической динамикой.
* разработка эффективного устройства саморегулирующего адаптивного маховика для генераторов автономных микроГЭС на основе нового способа стабилизации частоты вращения ротора автономной микроГЭС;
* вычислительный алгоритм законов управления гидротурбиной и синхронным генератором ГЭС на основе метода АКАР СТУ.

**Личный вклад соискателя.** Данные, включенные в диссертацию, получены при личном и непосредственном участии автора, включая как теоретическую, так и экспериментальную часть. Работы по синергетическому синтезу законов взаимосвязанного управления «синхронный генератор-турбина» проведены с участием Российского ученого к.т.н. А.А.Кузьменко (каф. СиПУ Южный федеральный университет). Разработка систем с элементами АСНИ для исследования хаотического поведения в ЭЭС выполнена совместно с к.т.н. М.С.Асановым и д.т.н. Дж.А.Апышевым. Постановка задач исследований, обсуждение и внедрение полученных результатов проводилось совместно с научным консультантом, академиком Ж.Шаршеналиевым.

**Реализация результатов**:

1. Создан опытный образец МПТ, проведены опытно-промышленные испытания в Каскаде ТоктогульскихГЭС (акт испытания опыт.образца №1301/002 от 07.10.2011), на Камбар-Атинской ГЭС-2 (акт №011/И – 223 от 06.03.2013 г.), в ОАО «Северэлектро» (акт от 16.03.2014 г.), в ОшПВЭС (акт № 134 от 16.03.2015 г.).
2. Результаты работы внедрены при выполнении научно-исследовательских дипломных работ и при чтении специальных курсов студентам Кара – Кульского технологического института (г..Кара-Куль). Внедрение и использование результатов диссертационной работы подтверждается соответствующими актами внедрения и использования.

**Апробация результатов диссертации.** Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих научных международных конференциях: «Энергетика: проблемы и перспективы» (Бишкек, 2008 г.); VI международный симпозиум по фундаментальным и прикладным проблемам науки (Москва: РАН, Россия, 2011 г.); «Актуальные проблемы науки, техники и технологии» (Ош, 2012 г.); «Актуальные проблемы информатики и процессов управления» (Алматы, Казахстан, 2012 г.); VII международный симпозиум по фундаменталь-ным и прикладным проблемам науки (Москва: РАН, Россия, 2012 г.); VIII международный симпозиум по фундаментальным и прикладным проблемам науки (Москва: РАН, Россия, 2013 г.); «Системный синтез и прикладная синергетика» (Пятигорск, Россия, 2013 г.); IX международный симпозиум по фундаментальным и прикладным проблемам науки (Москва: РАН, Россия, 2014г.); X международная Азиатская школа-семинар «Проблемы оптимизации сложных систем» (Булан-Соготту, 2014 г.); XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014, ИПУ им. В.А.Трапезникова (Москва: РАН, Россия, 2014 г.), на научных семинарах ИАИТ НАН КР (2007-2015 гг.).

**Публикации.** Основные научные результаты, полученные в диссертации опубликованы в 36 работах, в том числе 1 монография, 32 статьи, 1 патент и 2 положительных решений. Личное творческое участие в совместных работах в среднем составляет 70% от всего объема реализованного творческого потенциала.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из перечня условных обозначений, введения, пяти глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Основное содержание работы изложено на 254 страницах компьютерного текста, включая 93 рисунка, 3 таблицы, библиографию из 191 наименований.

**ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы. Сформулирована цель работы и задачи исследования, представлена научная новизна и практическая значимость полученных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, приведены данные о публикациях, апробации и реализации результатов работы.

**В первой главе** обсуждаются причины противоречий и ряда нерешенных проблем между теорией оптимального управления и теорией стабилизации кибернетических динамических систем (ДС). Рассмотрены современные подходы к синтезу различного класса управлений нелинейными ДС. Изложены базовые положения и методы СТУ, применяемые в работе для синтеза нелинейных адаптивных законов управления взаимосвязанной системой “гидротурбина – синхронный генератор”, а также для решения сложных задач управления нелинейными объектами с хаотической динамикой. Приведена общая постановка проблем исследования.

Здесь будет уместно отметить имена выдающихся ученых, труды которых в определенной степени связаны проблемами устойчивости, бифуркации, нелинейной динамики и самоорганизации:

1. И.Ньютон - путь, базирующийся на векторных понятиях силы и импульса;
2. И.Л.Лагранж и В.Гамильтон – путь, опирающийся на вариационный принцип, на скалярные понятия кинетической энергии и силовой функции;
3. А.Пуанкаре и А.Ляпунов - путь, опирающийся на понятия инвариантов, асимптотической устойчивости, теорию бифуркаций, качественной теории дифференциальных уравнений и структуры фазового пространства, квазиэнергетические функции;
4. А.Андронов - путь, опирающийся на исследования Пуанкаре, ввел топологическое понятие структурной устойчивости систем;
5. И*.Пригожин –* физические основы синергетики – теория самоорганизации сложных систем, ввел понятие диссипативных структур;
6. Г.Хакен - синергетический путь *–* теория инвариантов, асимптотическая устойчивость движения, теория аттракторов;
7. *А.А.Колесников –* синергетическая теория управления, концепция единства процессов самоорганизации и управления (КЕПСУ).

Как отмечено в работе Ж.Шаршеналиева1, главными причинами противоречий и ряда нерешенных проблем, как в программной, так и позиционной кибернетических системах являются:

* отсутствие гарантии высокой степени соответствия объекта управления и его математической модели;
* неучет динамики перехода от режима приближенной оптимизации к режиму стабилизации;
* неучет особенностей «паразитной» динамики сложных объектов и систем;

1 Шаршеналиев Ж. О проблемах и противоречиях управления кибернетическими и синергетическими динамическими системами. Проблемы информатики СО РАН. – Новосибирск. 2012. – №3. – С.10-21

* отсутствие практически реализуемых, конструктивных вычислительных алгоритмов;
* неучет происходящих динамических режимов состояния (равновесный, переходной и периодический);
* оценка и стыковка динамических процессов с конечной продолжительностью (теория оптимальных процессов) и неограниченной продолжительностью (теория стабилизации).

Качественное управление сложными, нелинейными ДС требует использования идей самоорганизации (синергетики) путем формирования внутренних сил взаимодействия, осуществляющих синтез желаемых структур.

Основные методологические положения и признаки самоорганизации (рис.1), принципиально важные для формирования синергетических основ современной прикладной теории управления со всей очевидностью показывают, что синергетика имеет дело с неклассическими процессами и явлениями физики, в том числе и теории управления.

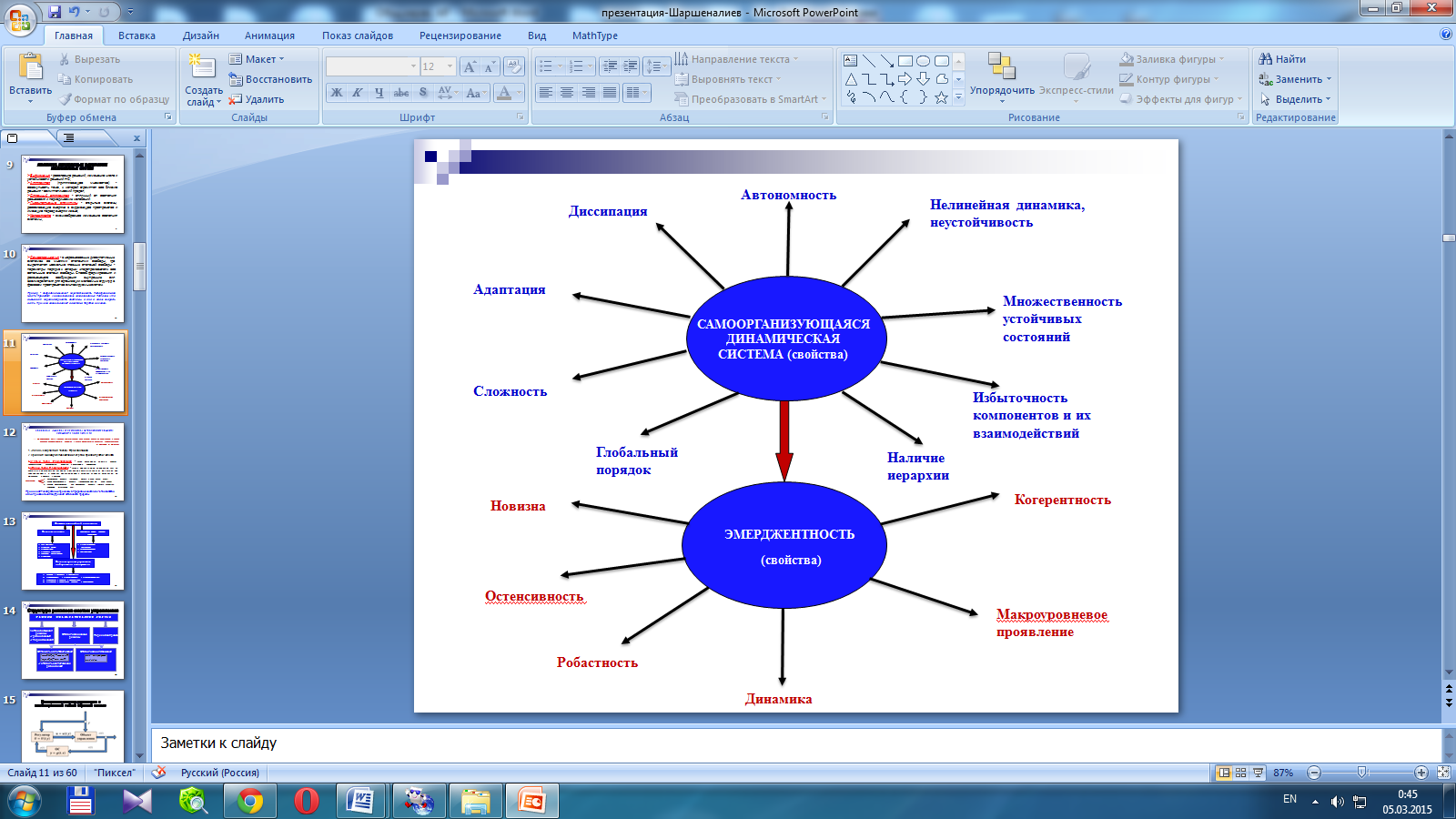


Рис.1. Принципы и свойства самоорганизующихся динамических систем

В настоящее время синергетический метод АКАР, является новым направлением в теории управления, который расширяет наше понимание сложных процессов управления, так как учитывает общие объективно-энергетические и энтропийно-информационные субстанции в пространстве и во времени. Метод базируется на принципе инвариантных многообразий, описывающих состояние исходной ДС, которое удовлетворяет технологической цели управления.

Сегодняшние научные подходы при синтезе ДС требуют единства процессов управления и самоорганизации. В кибернетике долгое время оставалась нерешенной фундаментальная проблема нелинейного системного синтеза - генерации совокупности нелинейных обратных связей (ОС), обеспечивающих устойчивое формирование направленной самоорганизации в многомерных ДС. Эта проблема получила эффективное решение в КЕПСУ в форме СТУ и основанного на ней метода АКАР.

КЕПСУ в работах научной школы профессора А.А.Колесникова получила широкое практическое применение при решении сложных прикладных задач управления в электроэнергетике, электромеханике, авиации и других областях.

Таким образом, в первой главе проведен системный анализ основных этапов развития управляемых систем с нелинейной динамикой и самоорганизацией и обоснована необходимость разработки нового подхода, т.е. поиска новых алгоритмов управления сложными ДС.

**Во второй главе** рассмотрены проблемы эффективного управления современными ЭЭС, и посвящена применению теории катастроф к задачам анализа устойчивости ЭЭС.

Важной особенностью ЭЭС является одновременность процессов производства, преобразования, передачи, распределения и потребления электрической энергии, а также, как правило функционирует в условиях воздействия внешних и внутренних возмущений, что может приводить к нарушению динамической устойчивости.

Наиболее распространенными базовыми ЭО современных ЭЭС являются турбо- и гидрогенераторы. Их основными свойствами являются нелинейность, многомерность, колебательность и динамическая взаимосвязь между турбиной и СГ. Свойство колебательности проявляется в самораскачивании, самовозбуждении СГ, появление автоколебаний, но особенно наихудшим случаем является воздействие на СГ внешних низкочастотных гармонических и кусочно-постоянных возмущений со стороны ЭЭС. Такие возмущения способствуют появлению системных колебаний, что может привести к нарушению устойчивости ЭЭС, асинхронному ходу и системной аварии.

Нужно отметить, что преимущественно нелинейный характер ЭО обусловлено применением существенно нелинейных регулирующих устройств и элементов во всей структуре современной ЭЭС.

Для надежного и качественного функционирования современных ЭЭС, в настоящее время применяются традиционные линеаризованные алгоритмы управления:

1. Автоматическая система управления частотой вращения и активной мощностью (АРЧМ) СГ (рис.2) электрических станций, как правило проектируется в виде отдельных линейных подсистем.
2. Автоматический регулятор возбуждения для управления напряжения и реактивной мощностью (АРВ) СГ (рис.3), параметры которых фиксированы и рассчитаны для определенного локального режима т.е. не учитывается многорежимность функционирования СГ.

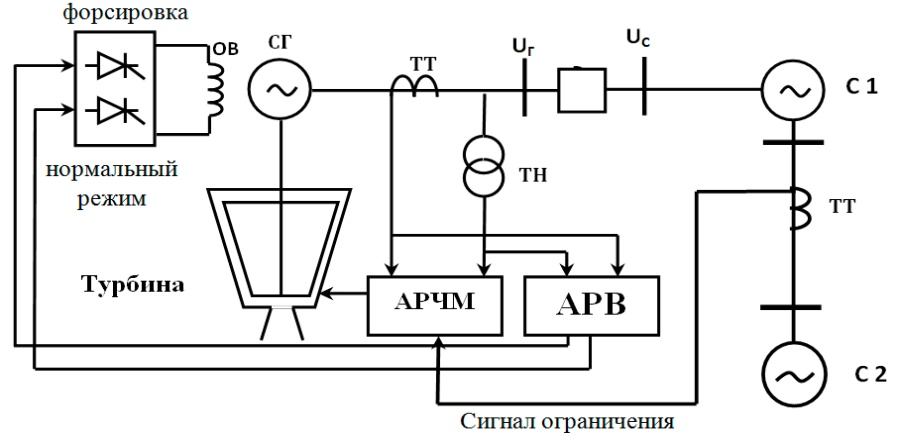


Рис.2. Традиционная схема регулирования частоты и активной

мощности в ЭЭС (АРЧМ)

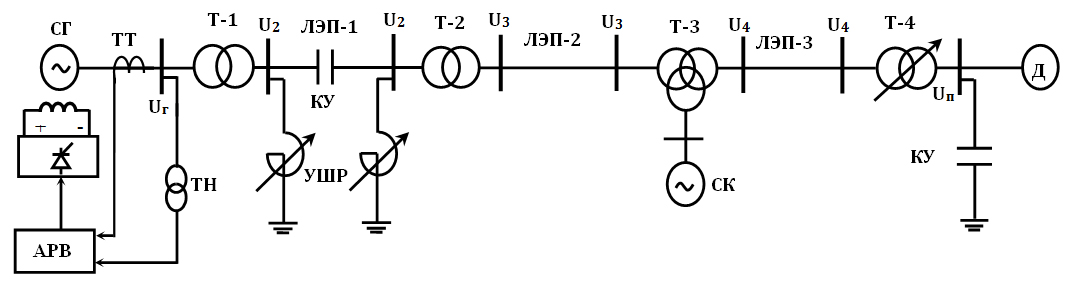


Рис.3. Традиционная схема регулирования напряжения СГ (АРВ)

и поддержание напряжения на должном уровне в контрольных пунктах ЭЭС

В то же время каналы управления возбуждением и частотой вращения СГ оказывают существенное влияние друг на друга, так как, турбина и СГ – это взаимосвязанные нелинейные ЭО как в составе отдельного СГ, так и особенно между всей группой СГ ЭЭС. Линейные регуляторы адекватны только в небольшой области отклонения от установившегося состояния. В пиковых и критических режимах (лавина частоты и напряжения, сброс или наброс мощности, короткие замыкания и т.д.), когда СГ работают в режимах больших отклонений, значительно проявляются их нелинейные свойства, возникают ситуации, когда действия каналов управления вступают в явные противоречия друг с другом, и неучет этих свойств может привести к нарушению устойчивости ЭЭС, возникновению и развитию системных аварий, которые могут перекинуться на ЭЭС соседних регионов, единую энергетическую систему (ЕЭС) страны и стран СНГ.

Несмотря на то, что задача управления режимами ЭЭС в нормальных и аварийных условиях является по существу единой задачей, в настоящее время, вследствие ограниченности средств анализа и управления режимами, осуществляется их независимое рассмотрение. Для эффективного управления, обеспечивающего асимптотическую устойчивость ЭЭС, необходимо рассматривать нелинейные модели ЭЭС и проводить анализ и синтез системы управления современными методами, которые в полной мере позволяют учесть явления взаимосвязанности и нелинейности процессов в СГ.

Прикладная математическая теория катастроф в сочетании с современными методами системного анализа станет полезным и эффективным средством качественного анализа различных режимов и процессов в ЭЭС.

В диссертационной работе показана возможность применения теории катастроф к задаче анализа положений равновесия ЭЭС, подверженной различным возмущениям. Отсюда возникает необходимость разработки метода на основе этой теории для анализа динамических процессов для одной, двух и более машинных систем.

Уравнение движения ротора машины, работающей через реактивное сопротивление на шины неизменного напряжения:

, (1)

где - мощность турбины, кВт; ,- электрическая мощность, кВт.

,

здесь *U=1,* о.е.,  - реактивные сопротивления по продольной и поперечной осям соответственно.

Условие равновесия , тогда

, (2)

отсюда

;

Уравнение многообразия катастрофы «сборки» для ЭЭС работающей на шины неизменного напряжения принимает следующий вид:

 (3)

где  - максимальное значение угла отклонения ротора,

, .

Уравнение (3) является одной из стандартных функций элементарных катастроф типа «сборка» (рис.4):



Рассмотрим влияние  и  на устойчивость. Задаем следующие параметры ЭЭС, которые работают на шинах бесконечной мощности.

*а=-0,295;* ;  *U=1.*

Если произошло короткое замыкание и электрическая мощность уменьшилась до значения  (табл.1), то в результате уменьшения  (отключение одной цепи ЛЭП), рабочая точка *М* приближается к области *В (Bifurcation),* тогда система будет неустойчивой, т.е. рабочая точка *М* может находится в *В1* или *В2* (рис.4).

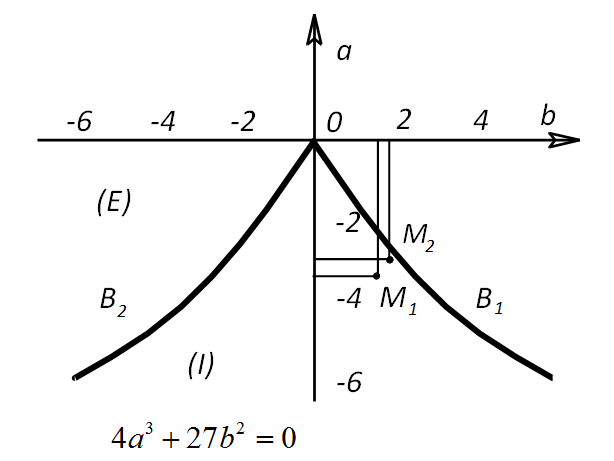


Рис.4. Двумерное многообразие катастрофы типа «сборка»

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 1 | | | | |
|  |  | а | b | Состояние системы |
| 1,765 | 34,5 | -3,42 | 1,31 | М1 в область (I), система устойчивая |
| 1,35 | 34,5 | -3.13 | 1,72 | М2 в область (I) система устойчивая |

Если  и  удовлетворяют уравнение  рабочая точка находится в области *В1* или *В2* , тогда система неустойчива. Если же с ростом  увеличивается *b*, то рабочая точка приближается к области *В1* и *В2*, где нарушается устойчивость. Этот результат соответствует результату, полученному с помощью метода площадей.

В работе также показан способ приведения уравнения движения ротора двухмашинной ЭЭС к одному из семи видов элементарных катастроф «ласточкин хвост» и его исследование.

Как известно, в ЭЭС из нескольких машин отдаваемая каждой машиной мощность зависит от угловых скоростей роторов всех машин системы.

Следовательно, поведение машин в системе, состоящей из двух СГ, определяется двумя уравнениями:

 (4)

где *М1* и *М2* – моменты количества движения, соответственно, первой и второй машин.

Электрические мощности, отдаваемые первой и второй машинами:

 (5)

Подставив значения *Рэл1, Рэл2* в (4) получим:

 (6)

Обозначим



тогда

 (7)

Разница углов  и дает относительный угол  т.е. , значение которого определяет устойчивость или неустойчивость системы из двух машин:



Если, *К1 –К2 =К12*, *К3 –К4=К34, -(К3+К4)=К43,*



тогда .

Принимая 

Получим  (8)

Обозначив





Окончательно получим,

. (9)

Отсюда получим хорошо исследованную теорию катастрофы типа «ласточкин хвост»:

 (10)

Теперь проведем исследование полученного уравнения движения ротора двухмашинной системы, приведенное к одному из семи элементарных катастроф типа «ласточкин хвост».

Критические точки вырожденности *j* (изолированные критические точки имеют *j=1*) могут быть получены приравниванием первых производных

*V(δ; a,b,c)* к нулю:

1. Критические точки при первом вырождении:  (11)
2. Дважды вырожденные точки:  (12)
3. Трижды вырожденные:  (13)
4. Четырежды вырожденные:  (14)

Линии, соединяющие точки, которые характеризуют поведение функции с трижды вырожденными критическими точками, имеют следующее параметрическое представление в пространстве управляющих параметров *R3* (рис.5):

(12)

(11)



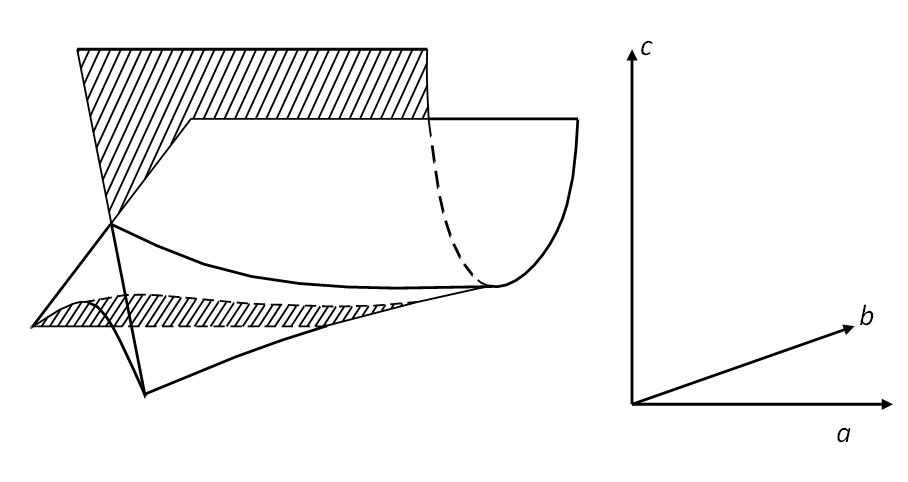


Рис.5. Представление управляющих параметров *R3* в пространстве

Чтобы определить качественный тип любой области, достаточно рассмотреть любую ее точку, например точки 0, 2, 4 (рис.6).

Уравнение  имеет решение:



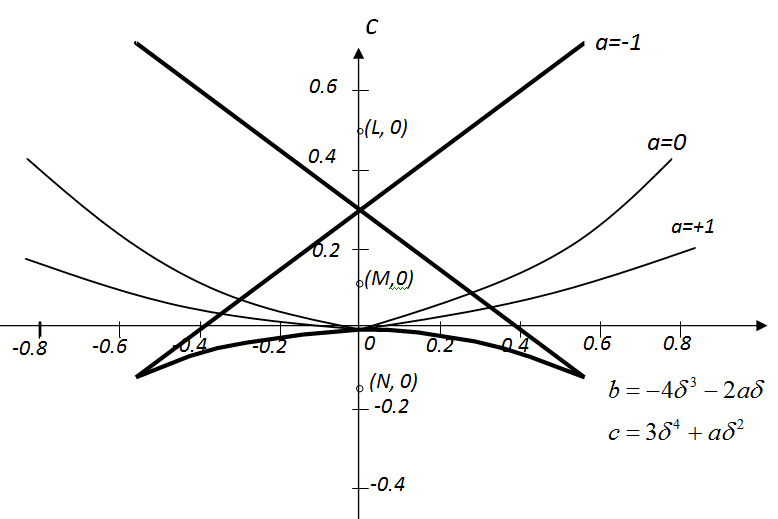


Рис.6. Поперечные сечения *a=+1, a=0, a=-1*

при *a>0:* два вещественных корня, если *c<0*, и ни одного вещественного корня, если *c>0*;

при *a<0:* два вещественных корня, если *c<0,* и четыре вещественных корня, если , а также ни одного вещественного решения, если 

Таким образом, можно сделать вывод, согласно которому, что элементарная теория катастроф позволяет определить, каким образом состояние равновесия (устойчивое состояние) *δj(a,b,c)* потенциальной функции *V(δi, a, b, c)* (в данном случае ЭЭС) изменяется при изменении управляющих параметров *(a, b, c).*

**Третья глава** посвящена разработке элементов автоматизированных систем научных исследований (АСНИ) для исследования хаотического поведения процессов в ЭЭС. Построена модель перемежающейся дуги в схемах замещения электрической сети с изолированной нейтралью 6-35 кВ. Рассмотрен интеллектуальный датчик нового типа (МПТ), обеспечивающий непрерывной информацией режимов работы сети с изолированной нейтралью 6-35 кВ.

В работе разработана экспериментальная установка с элементами АСНИ (рис.7), для изучения условий возникновения хаотических колебаний в физической модели сети, определения критических значений его параметров и установления критериев хаоса.

Регулируемыми параметрами модели являются переменные конденсаторы и представляющие в модели емкости соответствующих фаз сети относительно земли; переменный резистор , который подключается к нейтрали при необходимости исследования влияния значения этого резистора на продолжительность существования перемежающейся дуги (ПД).

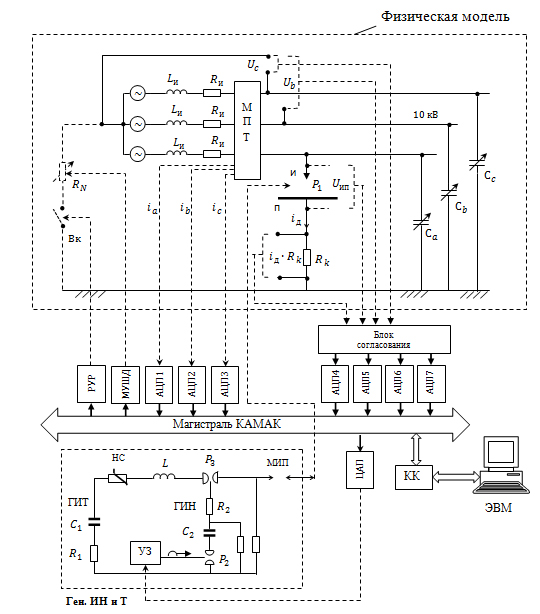


Рис.7. Структурная схема системы с элементами АСНИ: МПТ- многофункциональный преобразователь тока; – регулируемый резистор нейтрали; - электроды системы

«игла-плоскость»; – калиброванный резистор; – регулируемые конденсаторы представляющие в физической модели сети емкости соответствующих фаз сети относительно земли; РУР- регистр управления реле; МУШД- модуль управления шаговым двигателем; АЦП- аналого-цифровой преобразователь; ЦАП- цифроаналоговый преобразователь; КК – контроллер крейта; – трехэлектродные шаровые разрядники; МИП-многократный искровой промежуток; ГИН и ГИТ – генераторы импульсного напряжения и тока; УЗ- устройство запала

Степень нелинейности промежутка «игла–плоскость» регулируется изменением симметрии системы электродов, их форм и расстояния между ними.

В процессе эксперимента анализируются мгновенные значения: токов в каждой фазе ; напряжений на «здоровых» фазах тока ПД и падения напряжения на нем. Перечисленные сигналы для их анализа вводятся в ЭВМ через устройства сопряжения (соответствующие функциональные модули КАМАК). Изменение режима сети осуществляется включением или отключением резистора нейтрали с помощью включателя управляемый функциональным модулем РУР. Регулирования сопротивления осуществляется с помощью шагового двигателя, который управляется модулем МУШД.

Далее приводится функционирования экспериментальной установки, заключающиеся в следующем.

В исходном состоянии контакты выключателя разомкнуты. В соответствии с управляющей программой, от ЭВМ подается сигнал на запуск специального синхронизирующего устройства, которое в определенный момент времени подает сигнал на запуск устройства запала (УЗ) от которого подается импульс напряжения на трехэлектродный шаровой разрядник , в результате чего срабатывает ГИН и пробивается трехэлектродный шаровой разрядник , многократный искровой промежуток (МИП) и промежуток между электродами «игла-плоскость». При этом происходить разрядка ГИТ на промежуток «игла-плоскость». Пробой «игла-плоскость» создает замыкание соответствующей фазы на землю, возникает ПД при выполнении соответствующего условия. Условия для возникновения ПД создаются регулированием параметров системы.

МИП прекращает импульсный ток при прохождении через нуль и препятствует протеканию тока промышленной частоты от источника через элементы схем ГИН и ГИТ. Если целью исследований является проверка дугогасящей способности резистора , то после возникновения ПД от управляющей ЭВМ подается сигнал на установление нужного значения параметра резистора и его включения.

Таким образом, предложенная экспериментальная установка максимально приближает условия эксперимента к реальным и позволяет более эффективно исследовать условия возникновения и гашения ПД и переходные процессы в распределительных сетях.

Далее, на примере возникновения перемежающейся электрической дуги в сетях 6-35 кВ, показано возможные причины хаотического поведения некоторых процессов в электрических сетях. Подчеркивается, что в электроустановках 6-35 кВ большинство замыканий на землю происходит через ПД, которая более опасна, чем устойчивое замыкание, так как при продолжительном ее существовании, вызывает повреждение оборудования и инициирует перенапряжения в сети.

Предложен новый подход в построении модели перемежающейся дуги объясняющий процессы, наблюдаемые в сети (рис.8), как колебательные процессы в связанных осцилляторах.

Предполагая, что в фазе произошло однофазное замыкание, и в результате которой образовался ряд связанных колебательных контуров и (рис.8), проанализировано динамика хаотического процесса в рассматриваемой сети.



































Рис.8. Схема для анализа дуговых перенапряжений

Предполагается, что устойчивость нелинейных колебаний связанных контуров и поведение электрической дуги можно проанализировать путем совместного рассмотрения переменных состояния связанных контуров и так как вследствие электрической связи они могут обмениваться энергией. Также подразумевается, что устойчивость горения электрической дуги зависит от баланса энергий, которыми обмениваются эти контуры.

Для исследования эволюции рассматриваемой системы, построена нелинейная математическая модель, идентичная электротехнической модели Чуа, описывающая колебательные процессы, с учетом нелинейности и стохастичности параметров электрической дуги и .

Уравнения электромагнитных колебаний в контурах получаются из уравнений Лагранжа. Общий подход к исследованию поведения рассматриваемой системы с использованием системы дифференциальных уравнений, полученных на основе схемы замещения (рис.8), заключается в следующем: необходимо исследовать систему в окрестностях особых точек, в частности, неустойчивого состояния колебательного процесса в контурах и .

 (15)

Система эволюционирует в *n*-мерном пространстве состояний переменных . В каждой точке траектории, заданной выбором конкретных начальных условий наклон определяется величиной

 (16)

Особые точки (стационарные состояния) на траектории – это точки, в которых система нелинейных алгебраических уравнений

 (17)

имеет вещественное решение.

С другой стороны, замкнутые траектории, соответствующие периодическому режиму, имеют основной период, определяемый по формуле

 (18)

Система может изменить свое состояние при превышении одним из управляющих параметров некоторого критического значения. Чтобы определить, в какое из состояний она перейдет, необходимо снова решить систему взаимосвязанных алгебраических уравнений (17) и тем самым найти новую систему действительных решений (новый набор стационарных состояний), с измененными параметрами. В новый набор входит неустойчивое стационарное состояние бывшее прежде устойчивым, а остальные будут новыми.

Вследствие изменения состояния данной системы возможны следующие ситуации: "стартовав" из стационарного состояния, система равновероятно "приземлится" в любое из состояний нового набора, делая невозможным предсказание ее поведения. Для того, чтобы разобраться, как ведет себя система, необходимо рассмотреть более подробно "картографию" пространства состояний в окрестности каждого нового состояния.

В результате проведенного исследования может оказаться, что одни состояния имеют большую вероятность "заполучить" систему после того, как, будучи выведенной из прежнего состояния, она вынуждена "приземлиться" в каком-то новом состоянии. Иначе говоря, необходимо исследовать "линии тока" в окрестности всех имеющихся стационарных состояний в пространстве состояний в надежде, что это позволит оценить вероятность следующего предсказания.

Для реализации этого плана необходимы дополнительные исследования по установлению модели дугового замыкания в схемах замещения электрической сети.

В последних публикациях отмечается, что при анализе переходных процессов в сетях с изолированной нейтралью с целью выявления возможных перенапряжений в них, дуговой промежуток в схемах замещения представляется приближенно в виде идеального ключа, который замыкается при достижении напряжением значения, равного пробивному, а размыкается при прохождении тока через нуль. Однако такое представление дугового промежутка не совсем корректно, так как оно вызывает принудительную коммутацию электрической сети, и, следовательно, переходной процесс в нем протекает по иной, не характерной рассматриваемой нелинейной системе, к тому же величина пробивного напряжения дугового промежутка подвержена случайному разбросу.

При составлении модели дугового промежутка, предлагается учитывать, что электрическая дуга в промежутке и соответствующая электрическая сеть представляют собой единый «организм», и его поведение должно подчиняться внутреннему закону поведения нелинейной системы, точно предсказать поведение которой, невозможно, так как ПД ведет себе хаотично.

Отмечено, что электрический разряд воздушного промежутка между поврежденной фазой и землей можно представить как пробой газов в сильно неравномерном поле, так как разряд протекает между неодинаковыми (несимметричными) электродами «острие (фаза) – плоскость (земля)», и поэтому полярность электродов существенно влияет на величину разрядного напряжения.

При переменном напряжении пробой происходит всегда на положительной полярности острия (фазы). Вследствие этого дуговой промежуток можно заменить диодом, имеющим нелинейную вольтамперную характеристику (ВАХ).

Для представления модели дугового промежутка в схемах замещения более приемлемым является тиристор, так как его характеристика наиболее подобна ВАХ ПД.

Для случая, когда необходимо проводить исследование с целью определения степени перенапряжений на неповрежденных фазах, при дуговых замыканиях на землю поврежденной фазы с помощи физических моделей, выполненных на низком напряжении, менее опасных для экспериментатора, чем реальная сеть на напряжение 6 − 35 кВ, предложена следующая физическая модель (рис.9).

Отмечается, что переходные процессы при однофазном замыкании на землю (ОЗЗ) в физической модели электрической сети (рис.9) в режиме реального времени контролировался «Многофункциональным преобразователем тока» (МПТ), который является первичным измерительным преобразователем с расширенными функциональными возможностями (рис.10).

Сказано, что проведённые на действующих макетах МПТ эксперименты, показали, что любые нарушения режима в исследуемой сети приводят к изменению соответствующим образом значения индуцированных напряжений:

1. При внутреннем дуговом замыкании на землю (без обрыва) любой из фаз первой отходящей линии, сумма отклонений выходных величин () по сравнению с нормальным режимом больше в десятки раз, чем по сравнению возникновения внешнего дугового замыкания на землю другой отходящей линии. Это говорит о том, что с помощью МПТ можно обеспечить селективную защиту от ОЗЗ;
2. МПТ позволяет выявить оборванную фазу на линии;
3. C помощью МПТ можно контролировать степень несимметрии по нагрузке и по напряжению с помощью значений , ;

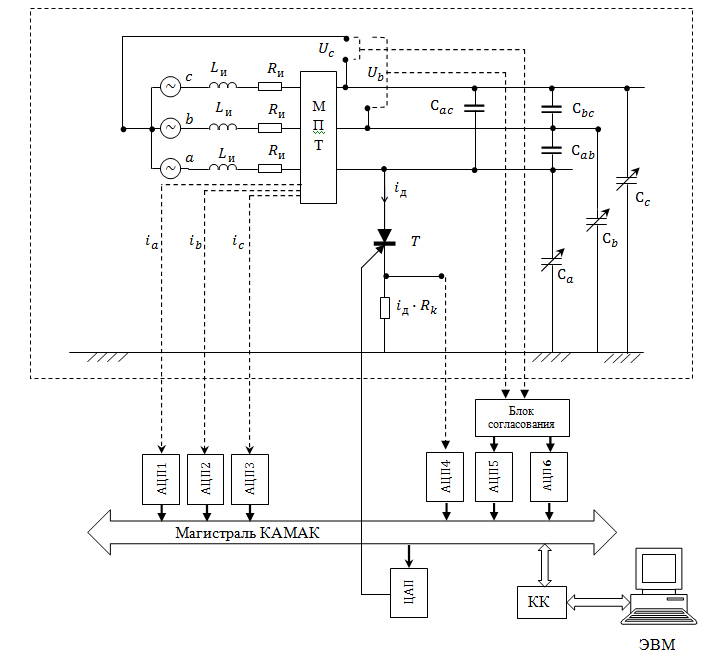
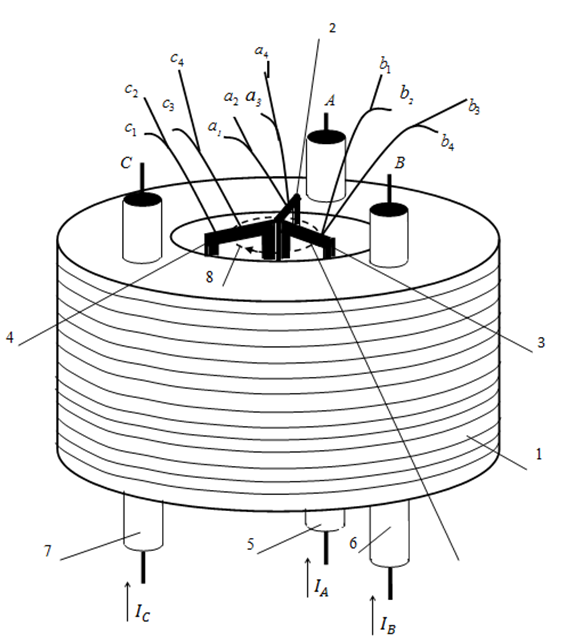
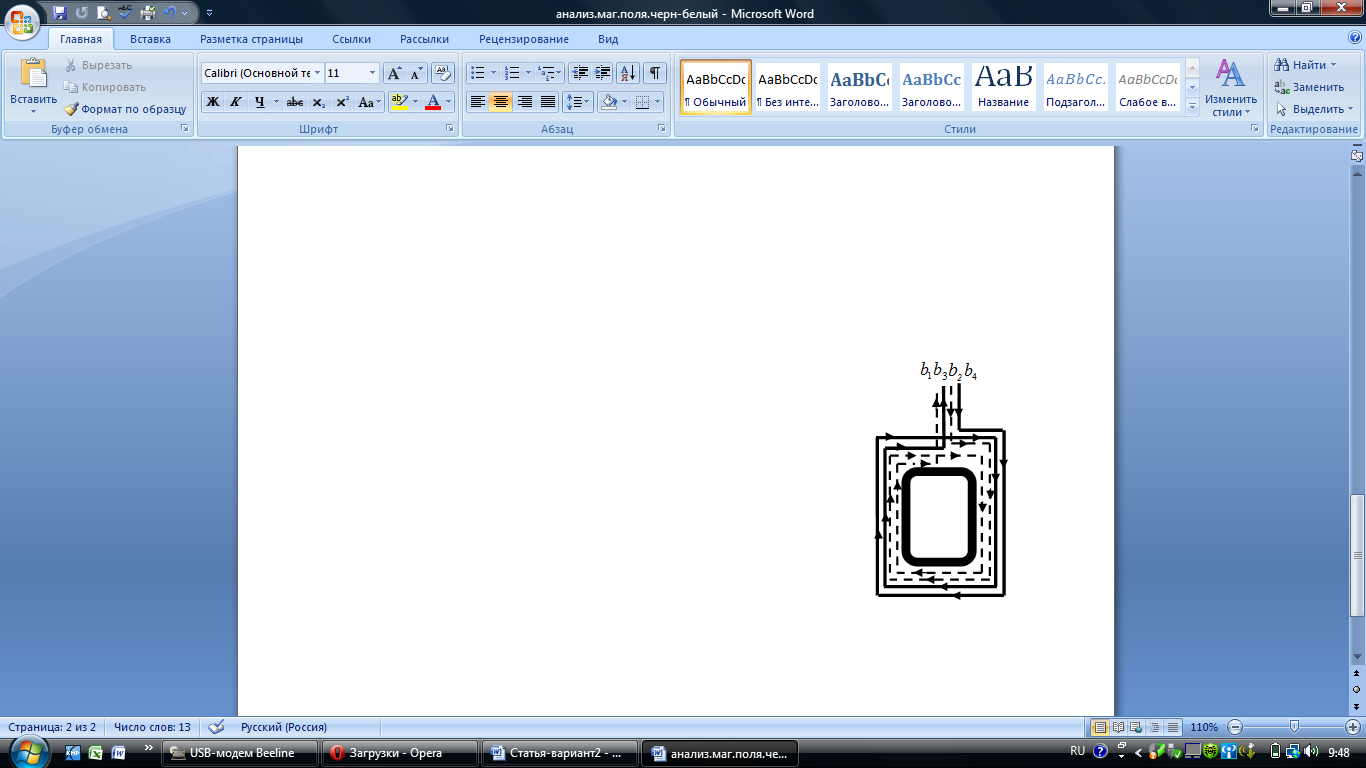


Рис.9. Физическая модель, установки выполненная на низком напряжении: МПТ - многофункциональный преобразователь тока; – калиброванный резистор;

– регулируемые конденсаторы представляющие в физической модели сети емкости соответствующих фаз сети относительно земли; межфазные емкости; АЦП- аналого-цифровой преобразователь; ЦАП- цифроаналоговый преобразователь; КК – контроллер крейта; T- представление дугового промежутка в схеме замещения в виде тиристора



а) б)

Рис.10. Многофункциональное устройство контроля режима (МПТ):

а) общий вид, б) рамка в расточке сердечника

1. При любом течении переходного процесса, вызванного нарушениями симметрии, на концах обмоток, соединённых в открытый треугольник, резко изменяются значения напряжений и , поэтому эти обмотки можно использовать в качестве пускового органа для запуска логической части защиты.

МПТ содержит (рис.10, а) цилиндрический сердечник 1, набранный из кольцевых дисков с отверстиями, в которых проходят токоведущие стержни фаз А, В, С проходных изоляторов 5, 6, 7 (играют роль первичных обмоток), а вторичные обмотки 2, 3, 4 (в виде прямоугольных рамок), расположены в расточке цилиндрического сердечника, соответственно напротив фаз A, B, С так, чтобы плоскости прямоугольных рамок пронизывались вращающимся магнитным полем 8. Это поле образуется от токов IA, IB, IC, нагрузок трехфазной распределительной сети, протекающих по первичным обмоткам устройства. На каждую рамку намотаны вдоль них (рис.10, б) по две обмотки, первая группа обмоток каждой рамки соединена между собой в звезду, а вторая группа - в открытый треугольник. Концы обмоток, намотанные на рамки, на чертеже отмечены буквами:

– на рамку 2

– на рамку 3

– на рамку 4.

В заключении раздела отмечено, что для изучения режима работы электрической сети с помощью МПТ необходимо провести анализа работы самой МПТ, определить основные его параметры, так как это устройство является новым [34]. Имеется возможность интеллектуализации МПТ путем создания приставки к нему с соответствующим программным обеспечением.

Изучение свойств ЭО (для нашего случая МПТ) сложных нелинейных ЭЭС возможно либо с помощью регистрации процессов, протекающих самопроизвольно в ходе эксплуатации действующих ЭО, либо с помощью имитационных моделей, на которых расчетным путем моделируются различные процессы, возникающие в ЭО. Очевидно, что первый путь не всегда бывает удовлетворительным, а в ряде случаев он полностью исключен. В связи с этим второй путь исследования ЭО, состоящий в изучении свойств имитационных моделей, является наиболее перспективным, а подчас и единственно возможным. Математической моделью ЭО на микроуровне является система дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих процессы в сплошной среде с заданными краевыми условиями.

Система уравнений в большинстве случаев известна, но точное решение ее удается получить лишь для частных случаев, поэтому первая задача, возникающая при моделировании, состоит в построении приближенной дискретной модели.

Электромагнитные процессы в МПТ в установившемся режиме описываются векторной магнитостатической моделью:

, так как ток пересекает рассматриваемую зону (19)

уравнение непрерывности поля (20)

уравнение, описывающее свойства материала (21)

Условие (20) позволяет определить некоторую векторную функцию ***А*** такую, что

(22)

которая, носит название векторный магнитный потенциал.

Чтобы данная функция была полностью определена, используют значение ее дивергенции:

(23)

В результате получается следующая система уравнений:

(24)

(25)

Процессы в МПТ в режиме ОЗЗ, сопровождающемся горением дуги, описываются магнитодинамической моделью:

(26)

(27)

В уравнении (26) - плотность тока (называемая током возбуждения), протекающая через МПТ.

Аналитически решить эти уравнения (19-23) для рассматриваемой конструкции (рис.10) очень трудно и даже невозможно в силу геометрической сложности объекта анализа, а также из-за нелинейных характеристик сердечника.

Единственно возможными методами становятся численные методы. Для расчетов был использован метод конечных элементов (МКЭ), обладающий большой гибкостью и пригодностью для описания устройств со сложной геометрией.

Сущность МКЭ заключается в замене краевой задачи вариационной, при которой область *D* электромагнитного устройства (для нашего случая МПТ) разбивается на подобласти (элементы) и решается вариационная задача внутри каждого элемента методом Ритца.

Для анализа работы МПТ использован программный пакет Elcut. В этом пакете дифференциальные уравнения в частных производных решаются МКЭ.

В рассматриваемой электрической сети имеются две отходящие кабельные линии, на одной из них установлен МПТ (рис.11 а, б, в).

Задавая различные режимы электрической сети, точнее моделируя ОЗЗ на различных участках сети, в фазе «А» получены картины изменения магнитного поля МПТ (рис.11 г, д, е), а также изменение индукции на сердечнике МПТ по оси *х.* (рис.11 ж, з, и) показывает, что в зависимости от места повреждения качественно и количественно изменяется электромагнитная индукция в различных точках области *D*, соответственно и индуцированные ЭДС на выходе МПТ.

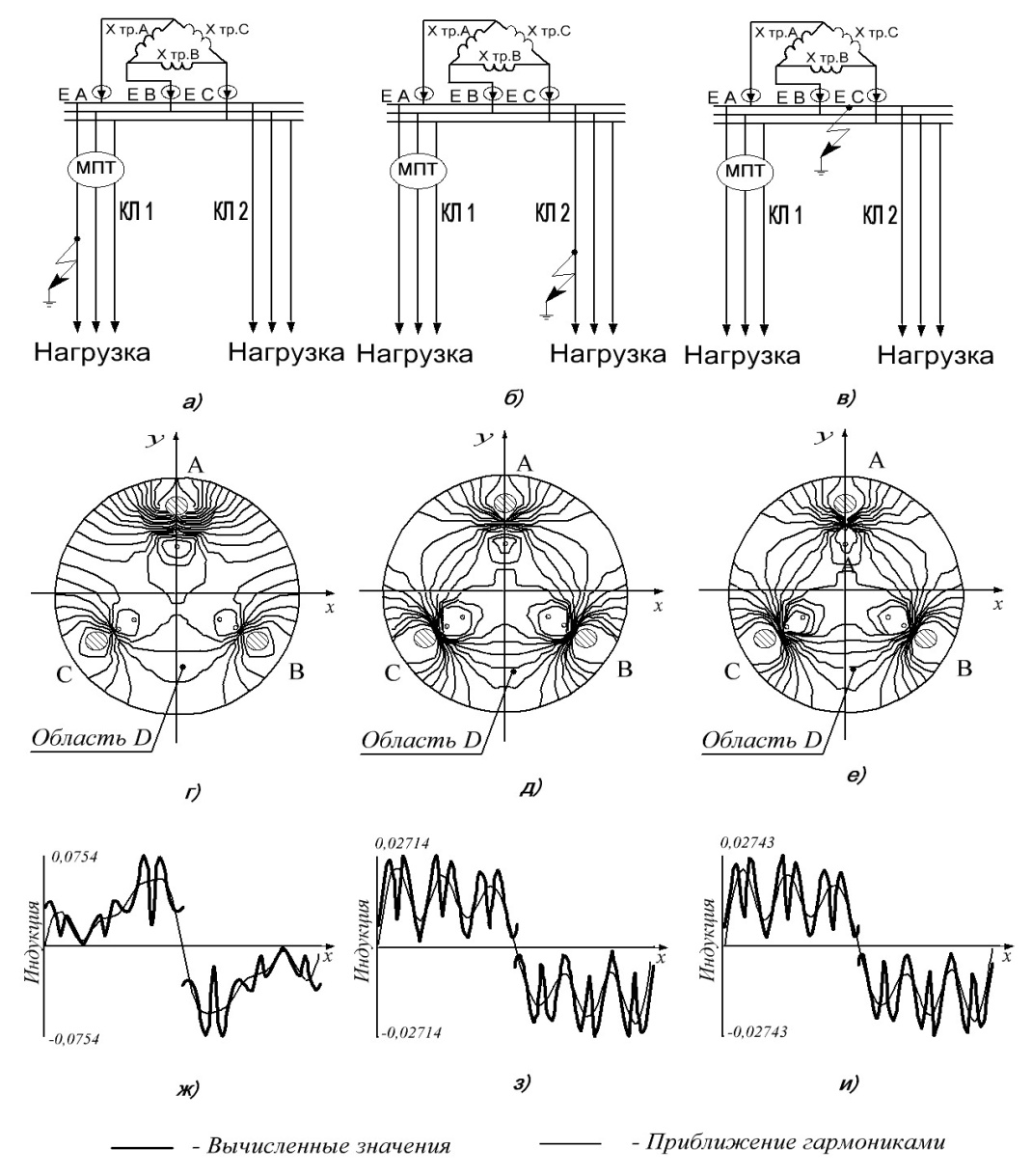


Рис.11. Исследуемая электрическая сеть и результаты анализа режимов:

а, б, в - электрическая схема сети при различных режимах; г, д, е – картины электромагнитного поля сердечника МПТ соответствующих режимов; ж, з, и – графики изменения электромагнитной индукции по оси *х.*

В результате можно отметить, что в зависимости от места повреждения качественно и количественно изменяется электромагнитная индукция в различных точках области *D*, соответственно и значение индуцированных ЭДС

на выходе МПТ, что позволяет однозначно идентифицировать поврежденную линию. Кроме того, результаты исследования на физической модели сети и МПТ подтвердили справедливость результатов компьютерного моделирования и показали возможность фиксации появления хаотического поведения тока в поврежденной фазе.

Потребность повышения надежности, дальнейшего углубления физических представлений о природе хаотических явлений в ДС, получения новой информации о проявлениях исследуемых возмущений, а также необходимость разработки эффективных методик для контроля параметров отражения динамических характеристик обуславливают построение методов управления и воздействия на хаотические процессы. Предложен вычислительный алгоритм решения сложных задач управления нелинейными ЭО с хаотической динамикой методом АКАР СТУ на примере электротехнической модели Чуа.

В модель Чуа можно ввести некоторое воздействие , например, в первое уравнение системы

** (28)

*Постановка задачи*: синтезировать такую функцию которая позволяет придать новые свойства модели (28), т.е. обеспечить асимптотическую устойчивость стационарных состояний системы для любых значений положительных параметров или наделить эту модель новыми типами аттракторов.

Для решения этой задачи используем метод АКАР, основанный на введении некоторой макропеременной и обеспечении свойства асимптотической устойчивости управляемой модели (28) относительно многообразия . Это свойство можно обеспечить путем использования функционального уравнения

(29)

где - задаваемый параметр. Введем следующую макропеременную:

(30)

Дифференцируя функцию и подставляя производную в уравнение (29), находим управление:

 (31)

которое обеспечивает перевод изображающей точки (ИТ) системы (28), замкнутой ОС (31), на многообразие . Движение по этому многообразию описывается дифференциальными уравнениями, которые можно найти, подставив переменную (30) во второе и третье уравнения системы (28). Тогда получим систему дифференциальных уравнений

 (32)

описывающих поведение системы (28), (31) на многообразии = 0. Исследуем устойчивость системы (32) относительно состояния 

Для этого введем следующую определенно-положительную функцию Ляпунова:

(33)

Производная по времени функции (33) в силу уравнений (32) равна

(34)

Согласно теореме Ляпунова, если производная всегда отрицательна, то это означает асимптотическую устойчивость системы (32) относительно стационарного состояния  при движении системы из любых начальных условий. Условие обеспечивается при

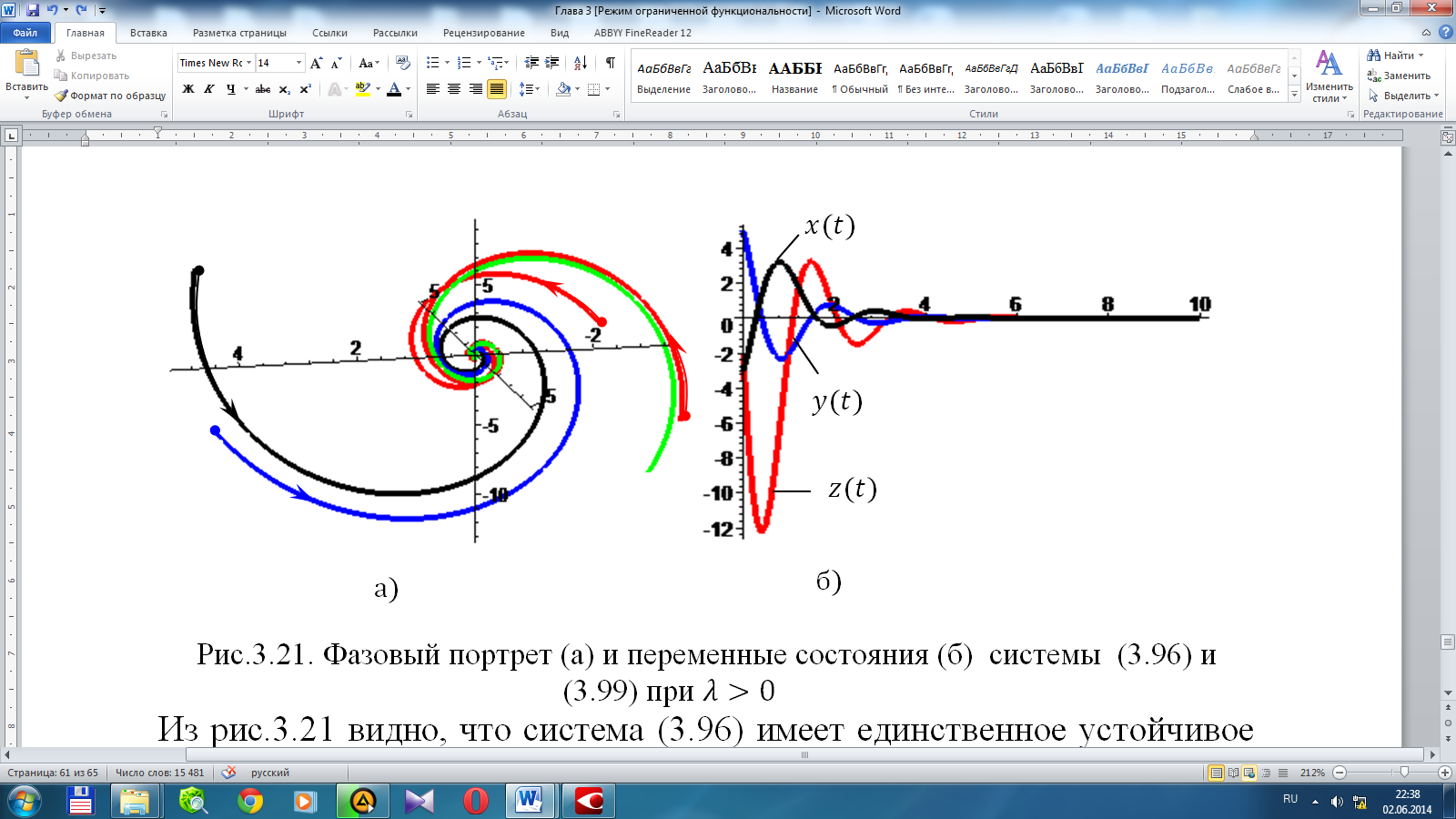
(35)

Учитывая, что на многообразии переменная то и состояние 

При введении ОС (31) в уравнение (28), условия (35) при гарантируют динамическую устойчивость стационарного состояния в начале координат при любых положительных значениях параметров системы.

На рис.12 приведены результаты моделирования системы (28), (31) при  [П8], подтверждающие теоретические положения метода АКАР. Из рис.12 видно, что система (28) имеет единственное устойчивое стационарное состояние – фокус, и при [П9], в системе сохраняется устойчивый фокус.

Таким образом, введение ОС (31) позволяет гарантировать при произвольном динамическую устойчивость в целом, т.е. во всем фазовом пространстве относительно желаемых стационарных состояний.



|  |
| --- |
| Рис.12. Фазовый портрет (а) и переменные состояния (б) системы  (28) и (31) при |

Теперь предположим, что коэффициент Положив  запишем систему уравнений (32) в виде:

 (36)

В зависимости от выбора коэффициента в интервале  можно придать различные динамические свойства декомпозированной системе (36) и, следовательно, синтезированной замкнутой системе (28) и (31).

На рис.13 [П10] прослеживается разрушение устойчивой системы – фокус. Возбуждаются колебания, происходит бифуркация, первоначально устойчивый фокус переходит в устойчивый «предельный цикл» – Андронова-Хопфа.

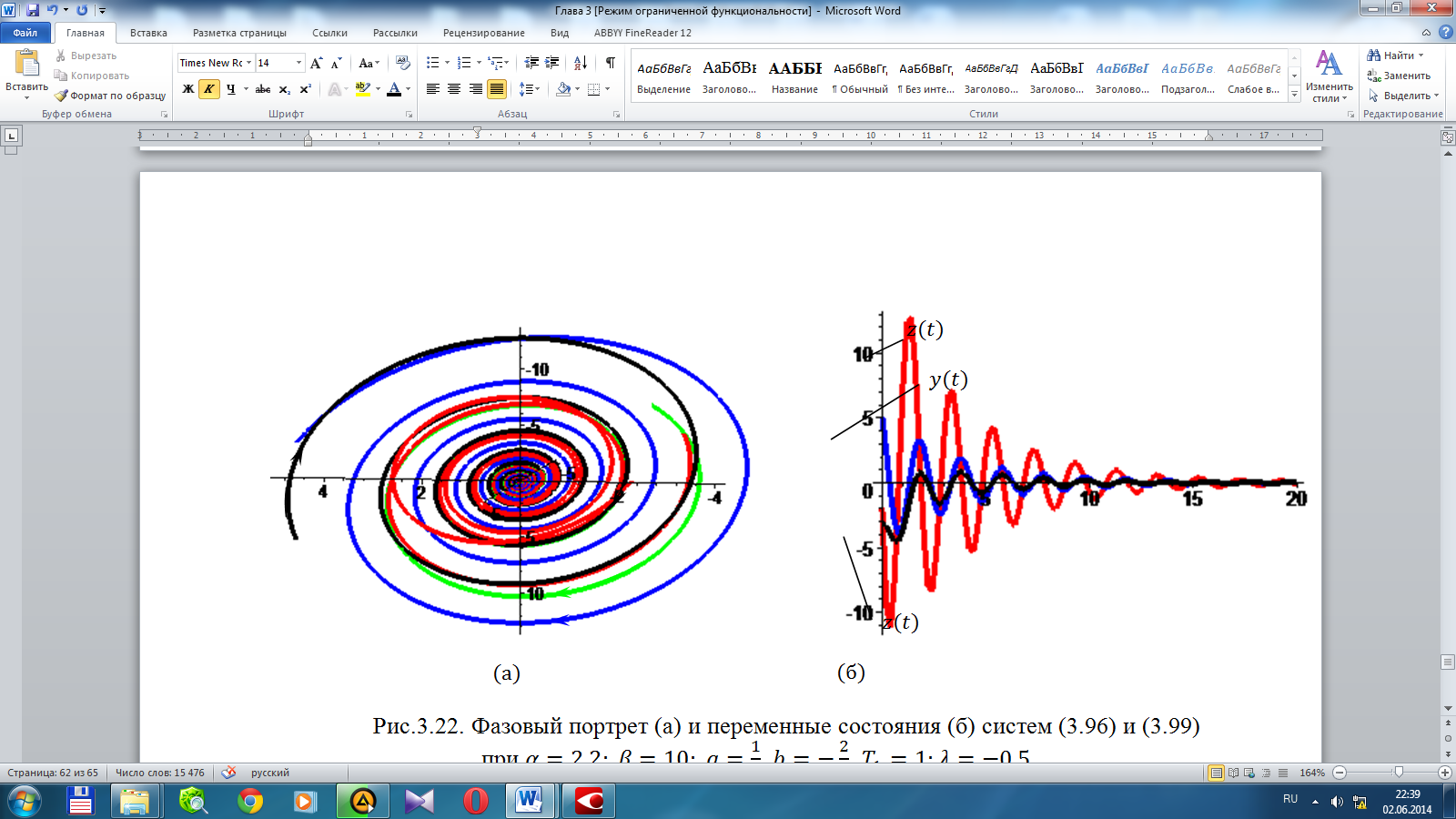


Рис.13. Фазовый портрет (а) и переменные состояния (б) систем (28) и (31) при

Результаты моделирования показали, что разрушение устойчивости системы (рис.13) приводит к новому ее состоянию: система (28) стала автоколебательной (рис.14) [П11]. Далее автоколебательная система (рис.14) переходит к новому состоянию – неустойчивому фокусу, не зависящему от времени (рис.15) [П12, П13, П14, П15, П16].

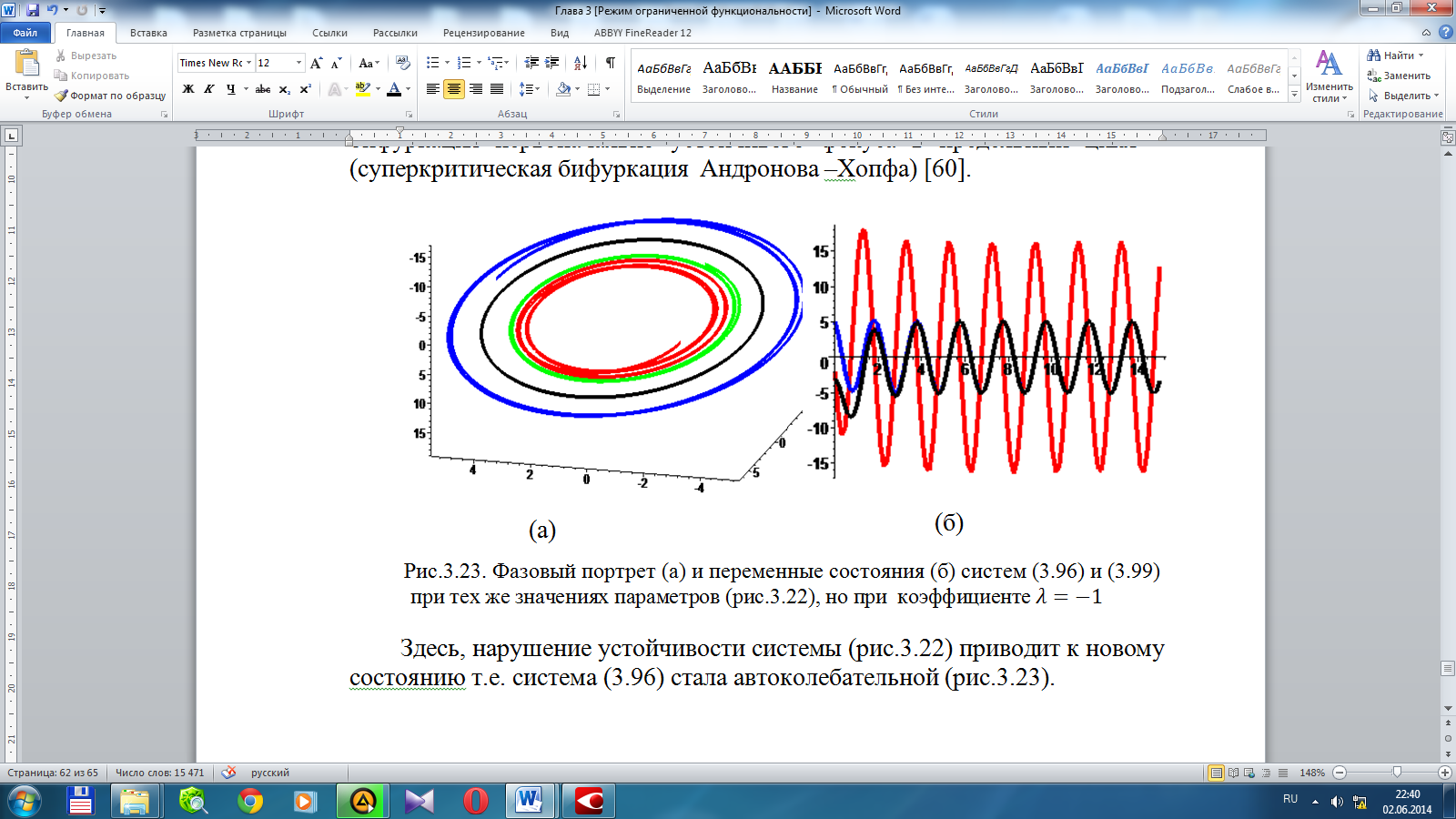
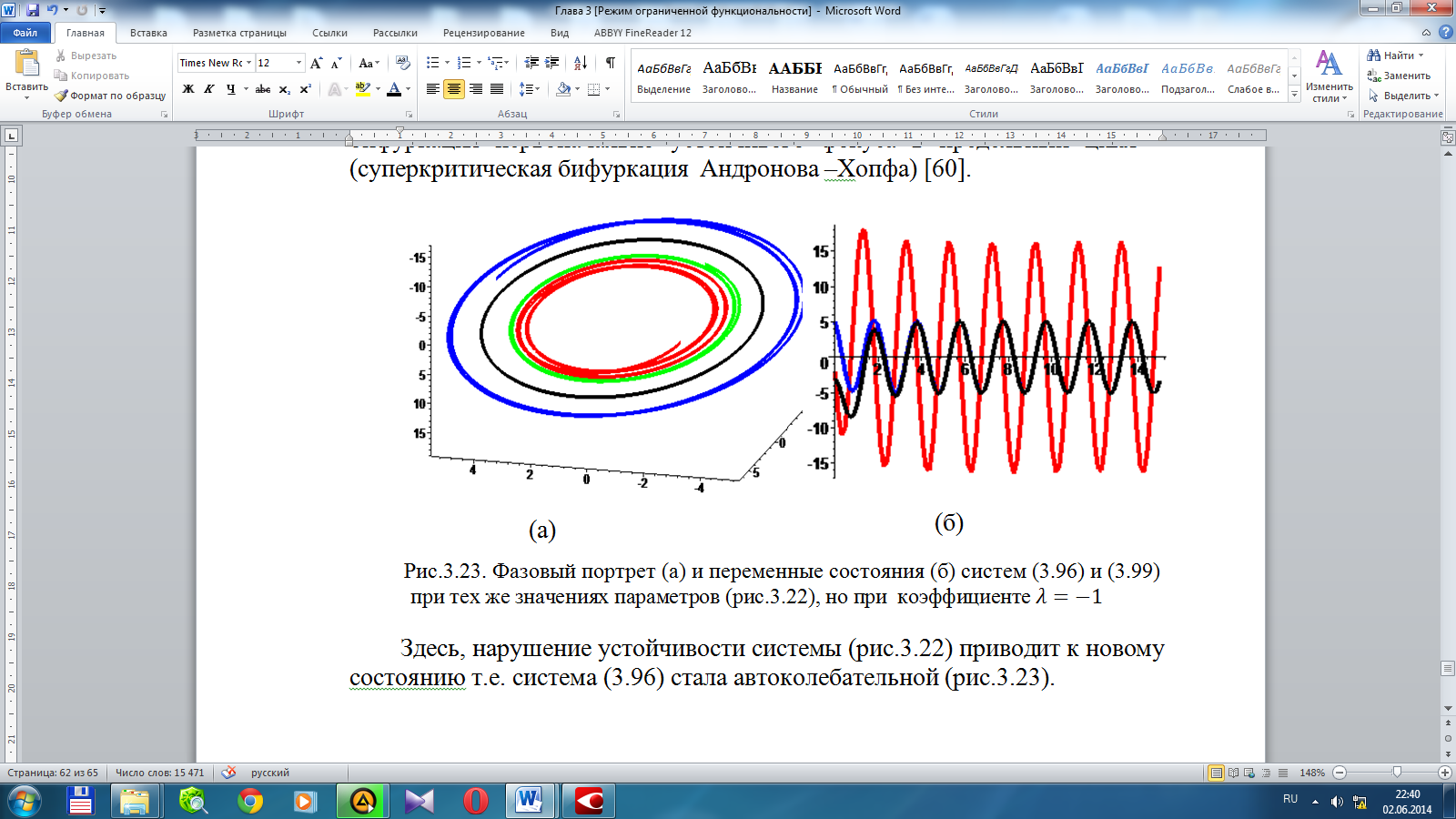
 

Рис.14. Фазовый портрет (а) и переменные состояния (б) систем (28) и (31) при

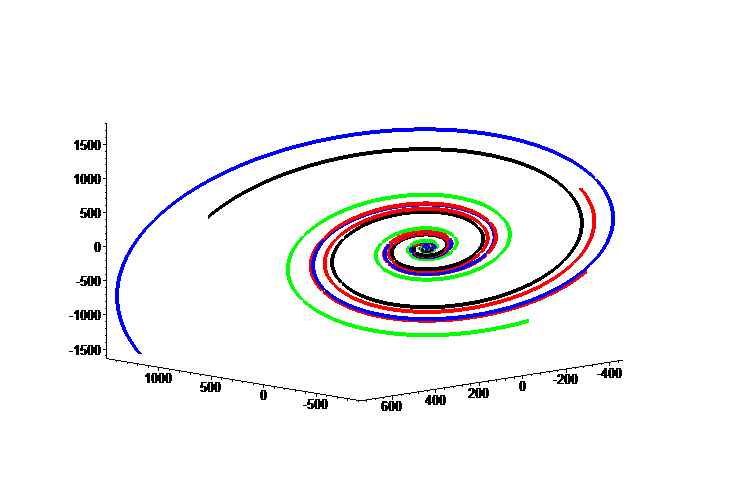
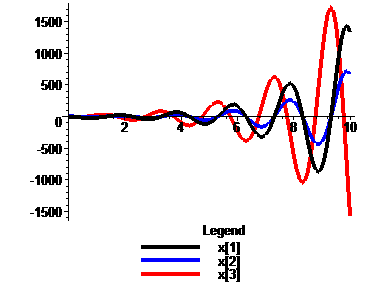


Рис.15. Фазовый портрет (а) и переменные состояния (б) систем (28) и (31) при

Таким образом, введение ОС *u1* позволяет гарантировать при произвольном  асимптотическую устойчивость в целом, т.е. во всем фазовом пространстве, относительно желаемых стационарных состояний . При  в системе (28), (31) на многообразии  (30) возникают новые типы аттракторов. Это означает, что ОС *u1*, введенная в модель Чуа (28), естественным образом отражает идеологию синергетики и теории самоорганизации.

**В четвертой главе** выполнен анализ традиционных алгоритмов управления сложными ЭЭС, разработано эффективное устройство «Саморегулирующий адаптивный маховик» для генераторов автономных микроГЭС на основе предложенного способа стабилизации частоты вращения автономной микроГЭС.

Использование, на начальном этапе, недорогих автономных энергетических установок с накопителями электрической энергии, а в дальнейшем переход к созданию распределительных сетей низкого напряжения с автономными микроГЭС и с другими возобновляемыми источниками энергии, для Кыргызской Республики является актуальной, а проблема получения электрической энергии за счет эффективных конструкций гидроагрегатов малой мощности (микроГЭС) становится одним из важных направлений по его решению.

Уравнение движения системы «гидротурбина–генератор» имеет вид:

 или  (37)

где – механический момент, развиваемый гидротурбиной; – момент сопротивления генератора (электрический момент) действующий на вал;  – момент инерции вращающихся частей [; – угол между валом и неподвижной осью [рад]. Поскольку рассматриваемая машина является СГ, механический момент является ускоряющим, а электрический момент – тормозящим.

Предположим, что из некоторого количества автономных микроГЭС организована распределительная электрическая сеть на генераторном напряжении, тогда угол можно отсчитывать относительно синхронно вращающейся оси, с постоянной угловой скоростью. (), тогда

 (38)

где – постоянный угол, определяемый сдвигом в пространстве синхронно вращающейся оси.

Из (38) видно, что в (37)  можно заменить на , в результате чего это выражение принимает вид:

 (39)

где  – механический угол по отношению к синхронно вращающейся оси.

Умножив обе части выражения (39) на  получим:

 (40)

Записав (40) через электрический угол и в относительных единицах имеем:



где  – постоянная времени инерции СГ [сек.];  – электрический угол [рад.]; – синхронная скорость [1/сек]; – время [сек.]; – мощности [о.е.].

Обозначив через и учитывая, что получим:

 (41)

Сравнительный анализ способов получения необходимого качества электроэнергии и величин входящие в уравнение движение системы «гидротурбина–генератор» (37), показывает, что стабилизация частоты вращения осуществляется путем воздействия на величину, или на , или путем использования: привода постоянной скорости, специальной конструкции электрической машины и статического преобразователя частоты.

Предложенный способ стабилизации частоты автономной микроГЭС, реализуется следующим образом (рис.16). В момент пуска, поток воды от источника 7 поступает в гидротурбину 1, в результате приходит во вращательное движение маховик 2 и ротор синхронного генератора. Выработанная электрическая энергия поступает в полезную нагрузку 4. Одновременно датчик вращения частоты контролирует величину частоты напряжения. При снижении потребляемой электрической нагрузки 4, частота начинает возрастать и датчик частоты, с помощью блок управления 5, открывает клапан 6. При этом вода поступает от источника 7 в маховик 2, наполняя его водой. В этом случае масса маховика и момент инерции возрастает, частота вращения ротора начинает уменьшаться, при достижении частоты до номинального, датчик частоты с помощью блок управления 5 закрывает клапан 6.

Указанный способ позволяет повысить эффективность применения микроГЭС с постоянными магнитами и устойчивость работы в условиях изменяющейся нагрузки.

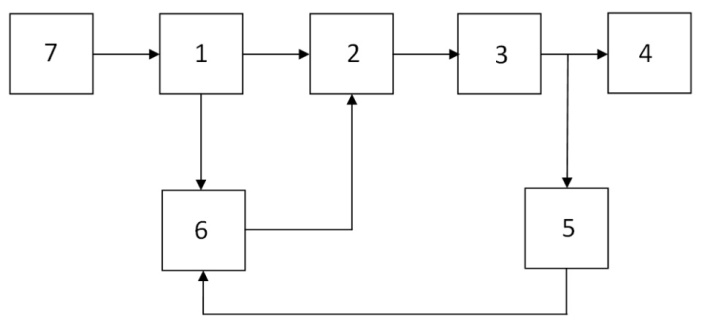


Рис. 16. Блок-схема системы стабилизации частоты вращения ротора автономной микроГЭС.

Принцип стабилизации основан на изменении значения момента инерции гидротурбины путем использования маховика с автоматически регулируемой массой и моментом инерции, а также регулирования энергии потока воды поступающего на выходы напорного трубопровода (рис.17).



Поток воды 12 поступает во входное отверстие напорного трубопровода 1 и, при выходе потоков 11 из водоотводных труб 13 возникает реактивная отдача. В результате, ротор генератора 2 и маховик 4, приходят во вращательные движения. При этом следует, отметить, что предварительно полость маховика не заполнена водой, так как клапаны 6 закрыты, препятствуя поступлению воды в полость маховика, а клапаны 5 открыты. Это состояние соответствует номинальной частоте вращения.

При превышении частоты вращения ротора выше номинального, из-за уменьшения нагрузки генератора, металлические шарики 9 жестко соединенные с соответствующими рычагами 8, которые в свою очередь шарнирно связаны с корпусом маховика, под действием центробежных сил поднимаются выше. При этом рычаги 8 механически воздействуют через спицы на клапаны 5 и 6, так что клапаны 6 открываются, способствуя поступления воды в полость маховика из напорного трубопровода, а клапаны 5 закрываются. Так как масса и момент инерции маховика увеличиваются, а поток воды, поступающий на выходы напорного трубопровода, уменьшается, то скорость вращения ротора понижается до достижения номинальной частоты.

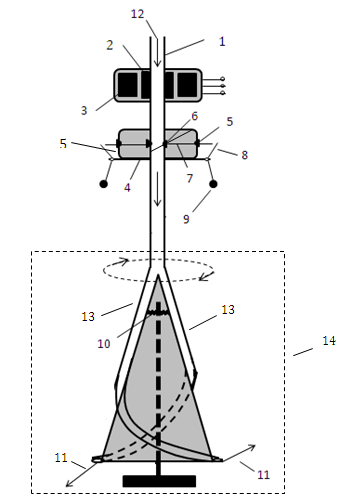
****

Рис. 17. МикроГЭС: 1 – напорный трубопровод; 2 – ротор генератора жестко прикрепленный к напорному трубопроводу; 3– статор; 4 – маховик со следующими элементами (5, 6 – клапаны, 7 – спица, 8 – рычаг шарнирно связанный с корпусом маховика, 9 – металлический шар жестко закрепленный к рычагу); 10 – подшипник; 11 – поток воды выходящие из водоотводных труб 13; 12 – поток воды поступающий в напорный трубопровод гидротурбины 14.

При уменьшении частоты ниже допустимого за счет опускания шаров 9 клапаны 6 закрываются, а клапаны 5 открываются, а поток воды поступающий на выходные отверстия увеличивается. В результате частота восстанавливается до допустимого значения.

Проделаем некоторые преобразования над параметром в уравнении (41), чтобы учесть его зависимость от угла в математической модели микроГЭС с новым способом управления и стабилизации частоты.

 (42)

где – неизменная составляющая механической постоянной маховика и остальных элементов конструкции микроГЭС, которые находятся во вращательном движении, когда его полость не заполнена водой, – переменная составляющая, зависящая от угла .

Подставляя (42) в выражение (41) получим:

 (43)

Конкретный вид функции определяется конструкцией маховика.

Относительно небольшая проектная мощность микроГЭС позволяет создавать физические модели с масштабным коэффициентом подобия близким к единице. Поэтому, на таких моделях можно проводить всестороннее исследование многих блоков и элементов микроГЭС, которые впоследствии могут быть использованы в неизменном виде на реальных станциях.

На основе анализа традиционных алгоритмов управления ЭЭС предложен способ управления и стабилизации частоты вращения автономной микроГЭС с использованием оригинальной конструкции маховика.

**В пятой главе** диссертационной работы представлен синергетический синтез нелинейных адаптивных законов управления системой «гидротурбина-СГ» в соответствии с принципом интегральной адаптации СТУ, обеспечивающий выполнение желаемых целей управления и подавление внешних и параметрических возмущений.

Для синтеза применён основной метод СТУ – АКАР, базирующийся на принципах синергетики и кибернетики, развитый научной школой проф. А.А. Колесникова. Данный метод позволяет учитывать все нелинейности объекта управления, а для подавления внешних и внутренних возмущений в рамках метода АКАР существует подход интегральной адаптации, который основывается на положении о том, что на систему действуют наихудшие (кусочно-постоянные) возмущения, а о самих возмущениях известно только то, в каком месте модели управления они прикладываются.

*Постановка задачи.* В качестве модели СГ, работающего на систему неограниченной мощности через ЛЭП с чисто активным сопротивлением, примем следующую нелинейную модель [30, 31]:

 (44)

где ,  – токи статора по осям и ;  – ток возбуждения ротора; - частота вращения ротора и электрический угол генератора соответственно; *D* – демпферный коэффициент;  – напряжение возбуждения ротора (управление СГ); параметры статора СГ; параметры обмотки возбуждения СГ; – механическая мощность на валу СГ.

Напряжение на выводах СГ (терминальное напряжение)  связано с переменными состояния системы (44) следующими соотношениями:

 (45)

где - индуктивность ЛЭП, - напряжение на шинах бесконечной мощности. Тогда уравнения (44) представим в форме:

 (46)

где внешнее кусочно-постоянное возмущение, отражающее изменение нагрузки СГ (подключение/отключение потребителей электроэнергии); – параметрическое кусочно-постоянное возмущение, отражающее изменение топологии сети за счет изменения ; - постоянные коэффициенты, связанные с параметрами статора и ротора СГ.

Динамика гидротурбины описывается моделью, учитывающей эффект гидроудара [30, 31]:

 (47)

где – величина открытия водяного шлюза (перемещение лопат направляющего аппарата),  – сигнал управления сервоприводом гидротурбины, который открывает шлюз или направляющий аппарат (перемещение штока сервомотора),  параметры гидротурбины.

Изменение топологии электрической сети будет влиять на правые части первых трех уравнений системы (46), а изменение момента на валу СГ выражается в аддитивной компоненте к правой части четвертого уравнение этой системы. Расширенную модель синергетического синтеза получим, объединив уравнения (44-47) записанные в форме Коши:

 (48)

где ,  – переменные состояния моделей кусочно-постоянных возмущений  и  соответственно.

Постановка задачи управления заключается в аналитическом синтезе на основе принципа интегральной адаптации СТУ законов управления СГ  и гидротурбиной  в функции переменных состояния системы (48), которые обеспечивают:

* синхронизм СГ - стабилизацию частоты вращения **;
* заданное напряжение на выводах СГ *Ut=U0*;
* асимптотическую устойчивость системы «гидротурбина – СГ»;
* подавление возмущения *M(t)* и робастность замкнутой системы к изменению топологии внешней сети – подавление возмущения *N(t)*.

*Процедура синтеза законов управления гидрогенератором.* Для того чтобы создать желаемый аттрактор в пространстве состояний расширенной системы (48), сформируем две макропеременные (по числу каналов управления) вида:

 (49)

С учетом уравнений (49) можно переписать два последних уравнения системы (48):

 (50)

На  уравнения (50) имеют вид



устойчивость которых обеспечивается при 

Для обеспечения способности закона изменять положение аттрактора в пространстве состояния системы уравнений (48) к внешним возмущениям, введем в макропеременные (49) адаптивные компоненты 

 (51)

Введение макропеременных (51) в расширенную систему уравнений (48) сформирует в пространстве состояний этой системы инвариантные многообразия – аттрактор,  на которых будут выполняться желаемые инвариантные соотношения:

 (52)

Продифференцировав по времени уравнения (51), с учетом уравнений (48), получим:



Необходимо найти такие законы управления , , которые бы обеспечили устойчивое движение расширенной системы уравнений (48), к инвариантным многообразиям , . Для этого необходимо разрешить систему уравнений:

 (53)

Для обеспечения асимптотической устойчивости движения ИТ системы до аттрактора, необходимо, чтобы коэффициенты ,  были строго положительны.

На основе (53), которые необходимо раскрыть с учетом правых частей уравнений объекта (48), мы имеем два алгебраических уравнения:

которые необходимо разрешить относительно управлений *.*

Полученные в результате данной процедуры нелинейные законы управления *гидротурбиной * и *генератором * будут обеспечивать перевод системы уравнений (48) в окрестность совокупности многообразий  Законы управления ** и ** более подробно описаны иприведены в диссертации.

*Результаты моделирования.* Проверим достоверность полученных теоретических результатов (законов управления), путем компьютерного моделирования замкнутой системы уравнений (48). Параметры объекта управления:



На рис.18-21 показаны результаты компьютерного моделирования замкнутой системы уравнений (48) с полученными нелинейными законами адаптивного управления  которые обеспечивают выполнение инвариантов (52) и подавление возмущений *N(t),* *M(t)* в программной среде Maple*.*

В качестве внешнего возмущения *M(t),* принята следующая кусочно-постоянная функция:



Для моделирования изменения топологии внешней сети, положим, что напряжение на шинах бесконечной мощности, также является кусочно-постоянной функцией:



На рис.18, 19 изображены графики переходных процессов терминального напряжения и частоты вращения ротора. Как видно из результатов моделирования, синтезированные законы управления обеспечивают выполнение желаемых инвариантов (52) и подавление возмущений *N(t),* *M(t)*.

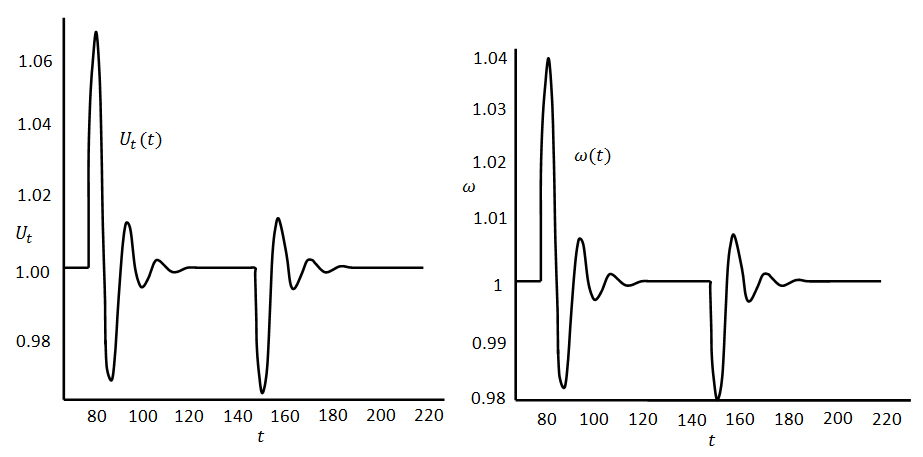
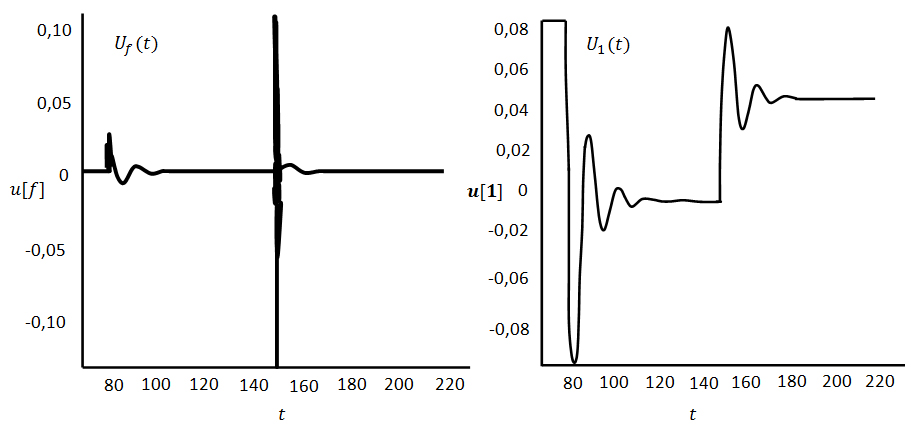


Рис.18. Терминальное напряжение Рис.19. Частота вращения ротора

На рис.20, 21 изображены графики управляющих воздействий: напряжение возбуждения и перемещение штока сервопривода направляющего аппарата (НА), соответственно.

Как видно из результатов компьютерного моделирования, синтезированные законы управления обеспечивают устойчивость в номинальном режиме работы и робастны к возмущениям, обеспечивают выполнение всех технологических требований.

Благодаря применению метода АКАР синтезированные законы управления максимально точно учитывают нелинейную динамику объекта управления. Применение принципов интегральной адаптации позволило обеспечить робастность закона управления к внешним, недетерминированным возмущениям.



|  |  |
| --- | --- |
| Рис.20. Управление СГ – напряжение возбуждения | Рис.21. Управление гидротурбиной – перемещение штока сервопривода НА |

**В приложении** представлены результаты компьютерного моделирования рассмотренных в диссертации задач, а также акты о внедрении и использовании полученных результатов.

-0,04

**ВЫВОДЫ**

1. Проведен системный анализ основных этапов развития управляемых систем с нелинейной динамикой и самоорганизацией и обоснована необходимость разработки нового подхода, т.е. поиска новых алгоритмов управления сложными динамическими системами.
2. Классифицированы основные принципы и свойства самоорганизующихся динамических систем, принципиально важные для формирования синергетических основ современной прикладной теории управления.
3. Предложен способ приведения уравнения движения ротора синхронных генераторов к одному из семи видов элементарных катастроф и новый качественный подход исследования устойчивости работы ЭЭС.
4. Построена модель перемежающейся дуги в схемах замещения электрической сети с изолированной нейтралью 6-35 кВ.
5. Разработан вычислительный алгоритм управления методом АКАР СТУ и законы управления для ЭО с хаотической динамикой на примере электротехнической модели Чуа.
6. Разработан и распространен синерго-кибернетический подход в теории управления на нелинейные многосвязанные системы – гидрогенераторы большой мощности.
7. Синтезированы законы управления гидротурбиной и синхронным генератором на основе метода АКАР СТУ в программной среде Maple, обеспечивающие стабилизацию напряжения генератора, частоту вращения турбины (синхронную работу с сетью), а также подавление внешнего и параметрического возмущений (параметрическую робастность).
8. Синтез методом АКАР законов нелинейного адаптивного управления на основе введения инвариантных многообразий в систему и использование принципа интегральной адаптации для подавления возмущений дает возможность синтезировать эффективные законы управления, максимально учитывающие внутреннюю нелинейную динамику объекта управления, обеспечивающие подавление внешних и параметрических возмущений без их оперативной идентификации с помощью наблюдателей.
9. Разработан и изготовлен опытный образец датчика нового типа – многофункциональный преобразователь тока (МПТ), обеспечивающий непрерывной информацией (мониторинг) о режимах работы распределительной сети 6-35кВ (патент №1630).
10. Предложен оригинальный «Способ стабилизации частоты вращения ротора автономной микроГЭС» (положительное решение на изобретение № 20140114.1 от 18.09.2014г.).
11. Разработано устройство «Саморегулирующий адаптивный маховик для генераторов автономных микроГЭС» (положительное решение на изобретение № 20140113.1 от 18.09.2014г.).

**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**

**Монография:**

1. **Бакасова, А.Б.** Синтез сложных систем с нелинейной динамикой и самоорганизацией [Текст]: монография / А.Б. Бакасова.– Бишкек: Инсанат, 2014. – 424 с.

**Статьи, опубликованные в научных журналах и сборниках:**

1. Бакасова, А.Б. Математическая модель электрических сетей с нелинейными элементами [Текст] / А.Б. Бакасова, А.К. Абдымомунова, Ж.С. Иманакунова // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та. – 2006. – №10. – С.221–226.
2. Бакасова, А.Б. Расчет переходных процессов в трехфазных сетях, содержащих нелинейные устройства [Текст] / А.Б. Бакасова, А.К. Абдымомунова, Н.Д. Таабалдиева // Доклады 2–й Междунар. конф. «Проблемы управления и информации». – Бишкек, 2007. – С.228–232.
3. Бакасова, А.Б. Управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы для электроэнергетики Кыргызстана [Текст] / Дж.А. Апышев, А.Б. Бакасова, Г.Н. Ниязова // Наука и новые технологии.– Бишкек, 2008. – С. 5–9.
4. Бакасова, А.Б. Нелинейная электроэнергетика – состояние и перспективы [Текст] / Дж.А. Апышов, А.Б. Бакасова, Н.Д. Таaбалдиева // Изв. Кырг. Гос. техн. ун-та им. И. Раззакова.– 2008.– №3: Междунар. науч. – техн. конф. «Энергетика проблемы и перспективы», посвящ. 50–летию энергет. фак. и каф. «Электроэнергетика» / КГТУ им. И. Раззакова. – С.32–35.
5. Бакасова, А.Б. Синергетический подход противоаварийного и энергосберегающего управления сложными электроэнергетическими системами [Текст] / А.Б. Бакасова // Проблемы автоматики и управления. – Бишкек, 2009. – №2. – С. 41–45.
6. Бакасова, А.Б. Проблемы эффективного управления современными и перспективными электроэнергетическими системами [Текст] / А.Б. Бакасова, Н.Т. Ниязов, Г.Н. Ниязова // Проблемы автоматики и управления. – Бишкек, 2010. – №2. – С. 132 – 135.
7. Бакасова, А.Б. Применение нелинейных моделей в электроэнергетических системах для синтеза синергетических законов управления [Текст] / А.Б. Бакасова // Проблемы автоматики и управления. – Бишкек, 2010. – № 2. – С.136–139.
8. Бакасова, А.Б. О некоторых основах системного анализа динамических систем методом синергетического управления [Текст] / Ж. Шаршеналиев, А.Б. Бакасова // Изв. Нац. АН Кырг. Респ. – 2011.– №2. – С. 55–60.
9. Бакасова, А.Б. Об алгоритме синтеза нелинейных векторных регуляторов методом АКАР [Текст] / Ж. Шаршеналиев, А.Б. Бакасова // Наука и новые технологии. – Бишкек, 2011. – №5. – С. 26–28.
10. Бакасова, А.Б. О проблемах управления хаотическими колебаниями в динамических системах [Текст] / А.Б. Бакасова // Изв. вузов. – Бишкек, 2011. – №2. – С.26–31.
11. Бакасова, А.Б. Анализ и задачи управления частотой и активной мощностью сложной электроэнергетической системы [Текст] / А.Б. Бакасова // Проблемы автоматики и управления. – Бишкек, 2011. – №1. – С.89–93.
12. Бакасова, А.Б. О проблеме синергетического управления реактивной мощностью сложной электроэнергетической системы [Текст] /А.Б. Бакасова // Проблемы автоматики и управления. – Бишкек, 2011. – №1. – С. 14–19.
13. Бакасова, А.Б. О синергетическом подходе в управлении частотой и напряжением сложной электроэнергетической системы [Текст] / А.Б. Бакасова // Материалы VI Междунар. симпоз. «Фундаментальные и прикладные проблемы науки». – М., 2011. – Т.2. – С. 164–172.
14. Бакасова, А.Б. Об обобщающей математической модели синтеза синергетических законов управления синхронным генератором [Текст] / А.Б. Бакасова // Проблемы автоматики и управления. – Бишкек, 2011. – №2. – С.36–40.
15. Бакасова, А.Б. О синергетическом методе управления для задач противоаварийных ситуаций в электроэнергетических системах [Текст] / А.Б. Бакасова // Проблемы автоматики и управления. – Бишкек, 2011. – №2. – С.41–48.
16. Бакасова, А.Б. Математическая модель расчета электромагнитных переходных процессов в нелинейной трехфазной сети [Текст] / А.Б. Бакасова // Изв. Ош. технол. ун-та. – 2012. – №1: Междунар. науч. – практ. конф. «Актуальные проблемы науки, техники и технологии».– С. 77–82.
17. Бакасова, А.Б. Аналитические модели детерминированного хаоса и проблемы их управления [Текст] / А.Б. Бакасова // Международная науч.- практ. конф. «Актуальные проблемы информатики и процессов управления», посвящ. 70–летию заслуж. деятеля науки Респ. Казахстан, акад. АН ВШ Респ. Казахстан, д-ра техн. наук проф. С.А. Айсагалиева. – Алматы, 2012. – С.15–16.
18. Бакасова, А.Б. Проблемы устойчивости и задачи управления режимами электроэнергетических систем в нормальных и аварийных условиях [Текст] / Ж. Шаршеналиев, А.Б. Бакасова // Изв. Нац. АН Кырг. Респ. – 2012. – №2. – С. 50–57.
19. Бакасова, А.Б. О синергетических алгоритмах управления в сложных электроэнергетических системах [Текст] / А.Б. Бакасова // Материалы VII Междунар. симпоз. «Фундаментальные и прикладные проблемы науки». – М., 2012. – Т.1. – С. 170–180.
20. Бакасова, А.Б. О некоторых методах декомпозиции сложных динамических систем управления [Текст] / Ж. Шаршеналиев, А.Б. Бакасова // Проблемы автоматики и управления. – Бишкек, 2012.– №1.– С. 5–15..
21. Бакасова, А.Б. Нелинейные устройства ограничения аварийных токов в электроэнергетических системах [Текст] / А.Б. Бакасова, Н.Т. Ниязов // Материалы. VIII Междунар. симпоз. «Фундаментальные и прикладные проблемы науки». – М., 2013. – Т.9. – С.12–22.
22. Бакасова, А.Б. Cинергетический подход в управлении хаотическими процессами в элементах и устройствах электромеханической системы [Текст] / А.Б. Бакасова, З.С. Кыдырмаева // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та. – 2013. – №29. – С. 46–52.
23. Бакасова, А.Б. О некоторых проблемах синтеза кибернетических и синергетических динамических систем управления [Текст] / Ж. Шаршеналиев, А.Б. Бакасова // Сборник науч. тр. V Междунар. науч. конф. «Системный синтез и прикладная синергетика». – Пятигорск, 2013.– Т. 2. – С. 120–126..
24. Бакасова, А.Б. О синергетическом подходе в управлении частотой и напряжением сложной электроэнергетической системы [Текст] / А.Б. Бакасова, Н.Т. Ниязов // Изв. Кырг. гос. техн. ун-та. – 2013. – № 29. – С. 42–46.
25. Бакасова, А.Б. О новых проблемах поиска законов самоорганизации в сложных динамических системах [Текст] / А.Б. Бакасова, Г.Н. Ниязова // Изв. Нац. АН Кырг. Респ. – 2014. – № 2. – С. 10–16.
26. Бакасова, А.Б. Синтез кибернетических и синергетических динамических систем управления методом АКАР [Текст] / Ж. Шаршеналиев, А.Б. Бакасова // Докл. Нац. АН Кырг. Респ. – 2014. – №1. – С. 48–51.
27. Бакасова, А.Б. Компьютерный анализ процессов в сетях с изолированной нейтралью при хаотическом поведении перемежающейся дуги [Текст] / К.А. Сатаркулов, А.Б. Бакасова, Ж.С. Абылгазиев // Материалы IX Междунар. симпоз. «Фундаментальные и прикладные проблемы науки». – М., 2014. – С. 49–56.
28. Бакасова, А.Б. Синергетическое управление сложными системами с хаотической динамикой [Текст] / А.Б. Бакасова // X Междунар. азиат. школа – семинар «Проблемы оптимизации сложных систем» / СО РАН. – Булан-Соготту, 2014. – С.92–101.
29. Бакасова, А.Б. Синерго–кибернетический подход к нелинейному адаптивному управлению гидрогенератором энергосистемы [Текст] / А.А.Кузьменко, А.С.Синицын, А.Б.Бакасова, Г.Н. Ниязова // ХII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014. –М.: ИПУ им. В.А.Трапезникова РАН, 2014. – C. 2219–2227.
30. Бакасова, А.Б. Синергетический подход к нелинейному адаптивному управлению гидрогенератором энергосистемы [Текст] / А.А. Кузьменко, Б.А. Бакасова, Г.Н. Ниязова // Проблемы автоматики и управления. – Бишкек, 2014. – №1. – С. 13–19.
31. Бакасова, А.Б. Способ стабилизации частоты автономной микроГЭС [Текст] / К.А. Сатаркулов, А.Б. Бакасова, Г.Н. Ниязова // Проблемы автоматики и управления. – Бишкек, 2014.– №1. – С. 20–23.
32. Бакасова, А.Б. Способ управления и стабилизации частоты микроГЭС [Текст] / А.Б. Бакасова, Ж.С. Иманакунова, Г.Н. Ниязова // Проблемы автоматики и управления. – Бишкек, 2014. –№2. – С. 115–120.

Патенты и заявки на изобретения:

1. Патент №1630, (Кыргызпатент). Многофункциональный измерительный трансформатор [Текст] / Ж.С. Иманакунова, К.А. Сатаркулов, А.Б. Бакасова и др.; Кыргызпатент.– №20130026.1; заявл. 30.04.2014; Опубл. 30.05.2014, Бюл. №5.
2. Положительное решение на изобретение №20140114.1 от 18.09.2014. Способ стабилизации частоты вращения ротора автономной микроГЭС [Текст] / К.А.Сатаркулов, А.Б.Бакасова, Г.Н. Ниязова и др. Рег. №02/2586 от 01.10.2014.
3. Положительное решение на изобретение №20140113.1 от 18.09.2014. Саморегулирующийся адаптивный маховик для генераторов автономных микроГЭС [Текст] / Ж.Шаршеналиев, Б.А.Бакасова, Г.Н. Ниязова и др. Рег. №02/2585 от 31.10.2014.

**РЕЗЮМЕ**

**Бакасова Айна Бакасовнанын «Сызыктуу эмес динамика жана өз алдынча уюштуруу системаларынын башкаруу классынын эсептөө алгоритмдерин изилдөө жана иштеп чыгуу» темасындагы 05.13.01 – «Системалуу талдоо, маалыматты башкаруу жана уюштуруу» адистиги боюнча техника илимдеринин доктору окумуштуулук даражасын изденип алуу үчүн жазылган диссертациясына**

**Урунттуу сөздөр**: өз алдынча уюштурула турган динамикалуу система, катастрофалар теориясы, кезектеше турган жаа, чакан ГЭС, башкаруунун синергетикалык теориясы, сызыктуу эмес адаптациялоочу башкаруу, гидротурбина, синхрондуу генератор, параметрикалык аныкталбагандык, инвариант.

**Изилдөө объекти**: Татаал электроэнергетикалык система жана энергия объекттери.

**Иштин максаты**: татаал объекттердин (ЭО) туруктуулугун, ишенимдүүлүгүн, функционалдык мүмкүнчүлүгүн кеңейтүү максатында, ошондой эле хаос динамикалуу ЭО-нин иштөө натыйжалуулугун жогорулатуу үчүн аларды башкаруунун жаңы алгоритмдерин иштеп чыгуу.

**Изилдөө ыкмалары**: классикалык АБТ, БСТ методдору, дифференциалдык теңдештиктер, сызыктуу эмес динамика жана синергетика теориялары, ошондой эле ДС математикалык моделдештирүү методдору. Maple, Elcut, MatLab жана Electronics Workbench программаларынын колдонмо пакеттери пайдаланылды.

**Алынган натыйжалар жана алардын жаңылыгы**: көп машиналуу ЭЭС үчүн «жыйнаштыруу» жана «чабалекейдин куйруктары» типтериндеги катастрофаларды уюштуруу ыкмасы менен туруктуулугун изилдөө жолу сунушталган; чакан ГЭСтердин гидрогенераторунун айлануу жыштыгын башкаруу жана турукташтыруу ыкмасы сунушталган; 6-35 кВ электр түйүндөрүндөгү кезектеше турган жаалардын хаос жүрүм-туруму тууралуу жаңы мамиле сунушталган; 6-35кВ бөлүштүрүү түйүнүнүн иштөө режиминин мониторингделүүсүн камсыздай турган көп функциялуу токту кайра өзгөртүп түзгүчтүн (КТК) тажрыйба үлгүсү иштелип чыккан жана даярдалган; гидрогенераторду сызыктуу эмес адаптациялоочу башкаруу мыйзамдары тарабынан тышкы жана параметрикалык толкундоолорду алардын ыкчам идентификацияланышуусуз байкоочулардын жардамы менен басылышын камсыздай турган системалардагы инварианттуу көп түрдүүлүктүн негизинде синтезделинген;

**Колдонуу даражасы**: Алынган жыйынтыктар Токтогул ГЭС-ларынын каскадында, Камбар-Ата ГЭС-2синде, «Түндүк электро» жана «Ош ПВЭС» ААКтарында колдонулган жана сыналган.

**Колдонуу тармагы**: илимий изилдөө, сызыктуу эмес динамикалуу системаларды долбоорлоштуруу жана эксплуатациялоо, анын ичинде татаал электрэнергетикалык системалары бар энергия объекттеринде дагы.

**РЕЗЮМЕ**

**диссертации Бакасовой Айны Бакасовны на тему: «Исследование и разработка вычислительных алгоритмов управления класса систем с нелинейной динамикой и самоорганизацией» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации»**

**Ключевые слова:** самоорганизующаяся динамическая система, теория катастроф, перемежающаяся дуга, микроГЭС, синергетическая теория управления, нелинейное адаптивное управление, гидротурбина, синхронный генератор, параметрическая неопределенность, инвариант

**Объект исследования:** Сложная электроэнергетическая система и энергообъекты.

**Цель работы:** Разработка новых алгоритмов управления сложными энергообъектами (ЭО) с проблемами обеспечения устойчивости, надежности, расширения функциональных возможностей, а также решение задач управления ЭО с хаотической динамикой с целью повышения эффективности их функционирования.

**Методы исследования:** методы классической ТАУ, СТУ, теории дифференциальных уравнений, нелинейной динамики и синергетики, а также методы математического моделирования ДС. Использовались прикладные пакеты программ Maple, Elcut, MatLab и Electronics Workbench.

**Полученные результаты и их новизна:** предложен способ приведения уравнения движения ротора синхронных генераторов к одному из семи видов элементарных катастроф и новый качественный подход исследования устойчивости работы ЭЭС; разработано эффективное устройство «саморегулирующий адаптивный маховик» для генераторов автономных микроГЭС на основе предложенного способа управления и стабилизации частоты вращения автономной микроГЭС; построена модель перемежающейся дуги в схемах замещения электрической сети с изолированной нейтралью 6-35 кВ; разработан и изготовлен опытный образец многофункционального преобразователя тока (МПТ), обеспечивающий мониторинг режимов работы распределительной сети 6-35кВ; синтезированы законы нелинейного адаптивного управления гидрогенератором на основе введения инвариантных многообразий в систему, обеспечивающих подавление внешних и параметрических возмущений без их оперативной идентификации с помощью наблюдателей;

**Степень использования:** Полученные результаты использованы и испытаны на Каскаде Токтогульских ГЭС, Камбар-Атинской ГЭС-2, ОАО «Северэлектро» и «Ош ПВЭС».

**Область применения:** научное исследование, проектирование и эксплуатация нелинейных динамических систем, в том числе и ЭО сложной электроэнергетической системы.

**SUMMARY**

**of the Dissertation of Bakasova Aina Bakasovna on theme: “Analysis and Development of Computing Algorithms for Control of a Class of Systems with Nonlinear Dynamics and Self-Organization” to gain the Degree of Doctor of Technical Sciences on Specialty 05.13.01 –**

**“Systems Analysis, Control and Processing of Information”**

**Keywords:** self-organizing dynamic system, catastrophe theory, intermittent arc, small hydro-electric power station, synergic control theory, nonlinear adaptive control, hydraulic turbine, synchronous generator, and parametric uncertainty, invariant.

**Object of researches:** Complex electrical power system and power facilities.

**The work purpose:** Development of new algorithms of control of a troublesome power facility (PF), i.e. a power facility with stability problems, problems of extension of functional capabilities of a hydro-electric generator, and for solution of problems with control of PFs with chaotic dynamics for the purpose of increasing efficiency of functioning of such PFs.

**Research methods:** methods of the classic automated control theory, synergic control theory, theory of differential equations, nonlinear dynamic and synergy, and methods of mathematical modeling of dynamic systems. Application program packages such as Maple, Elcut, MatLab and Electronics Workbench have been used.

**Obtained results and their novelty:** a method of organization of catastrophes of “Assembly” and “Dovetail” types for a multi-unit electrical power system was proposed; a method of control and stabilizing of frequency of rotation of a hydro-electric generator of a small hydro-electric power plant was proposed; a new concept about a chaotic behavior of an intermittent arc in electric circuits 6-35kW was proposed; a pilot model of a multi-functional current converter was designed and produced which is capable of monitoring of modes of operation of a distributing network 6-35kW; laws of nonlinear adaptive control of a hydro-electric generator were synthesized based on introduction of invariant varieties into the system which are capable of suppression of external and parametric perturbations without operating identification of those by observers;

**Degree of application:** The obtained results have been used and implemented at the Cascade of Toktogul HPS, Kambar-Ata HPS-2, “Severelektro” OJSC and “Oshelektro” OJSC (acts).

**Area of application:** scientific research, design and operation of nonlinear dynamic systems, including power facilities of a complex electrical power system.

Бакасова Айна Бакасовна

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ КЛАССА СИСТЕМ С НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКОЙ И САМООРГАНИЗАЦИЕЙ**

Автореферат диссертации



Подписано к печати 02.04.2015. Формат 60х84 . Объем 2,5 п.л.

Бумага офсетная. Тираж 130 экз. Заказ №24

Отпечатано в типографии «Блиц»