Кыргызский государственный

технический университет им. И. Раззакова

Диссертационный совет Д 05.12.002

На правах рукописи

УДК 001.8:621.3.016.351:621.31-026.52(043.3)

**ДЖУНУЕВ ТЕЛЕГЕН**

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ**

**ИССЛЕДОВАНИЯ И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОГРАНИЧЕННОЙ МОЩНОСТИ**

**Специальность 05.14.02 – Электростанции и электроэнергетические системы**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени**

**доктора технических наук**

**Бишкек 2013**

Работа выполнена в Кыргызском государственном

техническом университете им. И. Раззакова

|  |  |
| --- | --- |
| Научный консультант: | Доктор технических наук, профессор Маслов Сергей Ильич |

|  |  |
| --- | --- |
| Официальные оппоненты: | доктор технических наук, профессор  Трофимов Герман Геннадьевич  доктор технических наук, профессор  Гамазин Станислав Иванович  доктор технических наук,  старший научный сотрудник  Шамсутдинов Марат Мубарякшаевич |
| Ведущая организация: | ОАО «Электрические станции»  г. Бишкек, ул. Жибек-Жолу, 326 |

Защита состоится «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2013г. в \_\_\_\_\_\_\_час. на заседании диссертационного совета Д 05.12.002 при Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова по адресу: 720044, г. Бишкек, пр. Мира 66.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, 720044, г. Бишкек, пр. Мира 66.

Автореферат разослан «\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2013г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 05.12.002

кандидат технических наук, доцент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Э.Б. Исакеева

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность проблемы.** Для эффективного функционирования электроэнергетических систем необходимо разработка объективных, физически обоснованных показателей для оценки запаса устойчивости, введение соответствующих нормативов, обязательных для исполнения, явились бы эффективным профилактическим мероприятием по предупреждению системных аварий. Наиболее перспективно также направление, целью которого является воспроизведение аварийных режимов в электрической системе на основе классического метода математического моделирования физических объектов. При этом с помощью математических моделей могут быть изучены общие свойства электрической системы и выяснены закономерности поведения составляющих её элементов. Возможность многократного повторения системного нарушения режима и возможных вариантов его протекания может служить основой по выявлению предаварийных ситуаций и их предотвращению с помощью превентивных (предупреждающих) противоаварийных средств и по решению задачи об управлении аварийным процессом в желательном направлении.

Начало исследованиям по математическому описанию ЭЭС были начаты П.С. Ждановым ещё в 40-е годы прошлого столетия, а в 60-е годы продолжены А.А. Горевым.

В работах А.А. Горева полная модель для анализа статической устойчивости учитывает электромагнитные процессы и составлена по полным уравнениям Парка-Горева. К механическим координатам отнесены частоты вращения векторов напряжения, для чего в модель введены уравнения для частот и углов векторов напряжения в узлах сети. Нагрузка представлена статическими характеристиками активной (Р) и реактивной (Q) мощности по напряжению и частоте, причём в качестве частоты рассматривается частота вращения вектора напряжения в узле подключения нагрузки. Такое представление нагрузки выпадает из общей идеализации, так как оно не учитывает электромагнитные переходные процессы в статических моментах, представляющих обобщённую нагрузку. При использовании полной модели для более точного представления нагрузку следовало бы представлять дифференциальными уравнениями.

Предложенные П.С. Ждановым описания ЭЭС основаны на принципе наложения токов источников разных частот. Уравнения электрической сети записываются в виде балансов мощностей с использованием собственных и взаимных проводимостей схемы замещения, при этом мощности и проводимости являются функциями частот вращения роторов СМ системы. Нагрузка представляется характеристиками мощности по напряжению и частоте, причём мощности *Р* и *Q* нагрузки зависят от частот всех машин.

Таким образом, в уравнениях для электрической сети присутствуют частоты всех СМ. При таком описании элементов электрической сети не учитываются электромагнитные переходные процессы в статических элементах.

Данные трудности были разрешены с помощью введения единой системы механических координат для электрической сети. Такие работы проводились в 80-е годы В.А.Строевым. Разработанная система последовательно упрощаемых описаний ЭЭС включала подсистемы быстрых, медленных, общих и взаимных движений. В этих описаниях уравнения для элементов сети и нагрузок записывались в системе координат (*d, q*) одной из синхронных машин системы принятой за опорную.

Современная энергосистема Кыргызстана также развивалась по тем же принципам, положениям и требованиям, характерным для всех энергосистем. Являясь составной частью Объединённой энергосистемы Средней Азии и Южного Казахстана, она развивалась с учётом интересов этого района и частично интересов республики.

Распад СССР и становление Кыргызстана как суверенного государства, коренные изменения его социально-политического устройства, экономического и геополитического положения, зависимость от импорта энергоносителей, обусловили необходимость пересмотра стратегии и тактики развития топливно-энергетического комплекса и в первую очередь – гидроэнергетики, являющейся на данном этапе единственным энергоносителем, способным полностью удовлетворить потребности республики. Только за счёт развития этой отрасли, возможно:

- замещение дорогостоящих импортных энергоносителей:

- природного газа, топочного мазута и угля;

- дальнейшее развитие производительных сил республики;

- внедрение прогрессивных технологических процессов;

- развитие новых электроёмких производств;

- увеличение продукции на сельскохозяйственных предприятиях;

- более широкое внедрение электроэнергии в коммунально-бытовой сектор для отопления зданий, получения горячей воды, приготовления пищи и т.п.

После провозглашения независимости Кыргызстана в энергосистеме республики начало складываться сложное положение с электроснабжением потребителей, вызванное устойчивым и постоянным ростом внутреннего электропотребления, особенно на Севере. Другой особенностью энергосистемы является неравномерность среднегодового суточного потребления по республике. Так в летний период оно составляет около 18 млн. кВт∙ч, а в зимний – возрастает до 63 млн. кВт∙ч, что вызвано повсеместным использованием электрической энергии на нужды отопления и пищеприготовления.

Этими нагрузками электрическая сеть 500-220 кВ Севера республики в часы максимума зимних нагрузок загружена до предела, в результате чего исчерпана её пропускная способность. Поэтому дальнейший рост потребления электрической энергии национальная электрическая сеть Кыргызстана не может обеспечить без дальнейшего интенсивного её развития.

Существующая схема сети 500-220 кВ Кыргызской энергосистемы была сформирована в период существования Советского Союза и до настоящего времени не претерпела никаких принципиальных изменений с точки зрения надёжности работы энергосистемы в целом. Не получая дополнительного развития, она за счёт роста электропотребления полностью исчерпала пропускную способность.

В период после распада СССР были реализованы отдельные проекты, такие как строительство ПС 500 кВ «Алабель» и ПС 220 кВ «Семетей» в Таласской области, что дало возможность исключить зависимость от Казахской энергосистемы в питании потребителей Таласской области; реконструкция ОРУ 220 кВ ПС «Иссык-Кульская» и строительство ПС 220 кВ «Тамга» в Иссык-Кульской области; строительство ПС 220 кВ «Ак-Кыя» в Нарынской области; ПС 220 кВ «Айгуль-Таш» в Баткенской области и ряд других энергетических объектов. Вышеназванные объекты решили задачу улучшения надежности электроснабжения «местного» значения, но не решили вопроса повышения надежности и устойчивости работы всей энергосистемы и обеспечения энергетической независимости государства.

Основные недостатки существующей схемы сети 220-500 кВ энергосистемы следующие:

1. Географически энергосистема делится на Северную и Южную, которые связаны одной ВЛ-500 кВ (Л-509). Максимум нагрузка распределяется между ними следующим образом: 1900 МВт - Север и 1000 МВт - Юг. Генерирующие источники при этом располагаются таким образом: 90 % - на Юге и 10 % на Севере. Это обстоятельство вызывает постоянную проблему передачи больших объемов мощности на Север и соответственно загрузку сети 500-220 кВ.

2. Недостаточная пропускная способность сети 220 кВ для выдачи мощности Курпсайской, Ташкумырской и Шамалдысайской ГЭС. При этом мощность этих станций и Учкурганской ГЭС сверх величины потребления Юга выдаётся в сети Узбекистана и только через сети Узбекистана и Казахстана она может быть передана на Север.

3. Износ оборудования на ТЭЦ г. Бишкека и проблемы с топливом. Это приводит к работе ТЭЦ в зимний период с нагрузкой, не превышающей 250 МВт, т.е. около 30 % от установленной мощности. А это дополнительная нагрузка на сеть 220 кВ Севера Республики.

4. Зависимость загрузки сети 220 кВ Севера Республики от перетока мощности по линиям связи с Алматинской энергосистемой. В настоящее время по этим линиям на север Республики поступает более 300 МВт.

# В стратегическом плане проблемы живучести и надежности работы Кыргызской энергосистемы и обретение республикой энергетической независимости могут быть решены следующим образом:

# 1. Сооружение на Юге ПС 500 кВ «Датка» с врезкой её в линию 500 кВ ТГЭС-ПС Лочин (Л-504) и реконструкцией сети 220 кВ Юга с целью возможности выдачи мощности Курпсайской, Ташкумырской и Шамалдысайской ГЭС для потребителей Кыргызской Республики вне зависимости от режима работы Узбекской энергосистемы.

# На Севере республики будет сооружена ПС 500 кВ «Кемин» с заводкой на нее существующих линий 220 кВ в районе ПС «Быстровка».

2.Строительство линии 500 кВ между ПС 500 кВ «Кемин» и «Датка». Причем строительство этой линии необходимо осуществить, не дожидаясь, завершения строительства Камбаратинской ГЭС-2 и начала строительства Камбаратинской ГЭС-1. Трасса этой линии должна позволить осуществить выдачу мощности Камбаратинских ГЭС-1 и 2 и других электростанций.

3. Решить вопросы наращивания энергетических мощностей на Севере путем реабилитации мощности на ТЭЦ г. Бишкека и строительства Камбаратинских ГЭС-1,2 и верхне-Нарынского Каскада ГЭС.

В связи с ростом потребления на Севере Кыргызстана и в Алматинском энергоузле увеличился переток мощности по 3-му сечению (сумма перетоков по ВЛ 500 кВ Л-509, Л-Фрунзенская-Жамбыл, Л-5300, Л-5320 и ВЛ-220 кВ 2249 и Фрунзенская-ЖГРЭС). При допустимом по устойчивости перетоке 2200 МВт фактическая нагрузка достигла 2400 МВт.

Частично решит проблемы, возникающие при изолированной работе Кыргызской энергосистемы, строительство ПС 500 кВ «Датка» и ЛЭП-220 кВ на Юге Республики, а именно:

- будет полностью решена проблема с электроснабжением Ошской и Баткенской областей;

- будут электрически связаны Токтогульская ГЭС и остальные станции Нарынского каскада, что позволит им работать в сбалансированном водном режиме, и исчезнет необходимость сброса холостых сбросов воды.

К сожалению, остаётся проблематичным электроснабжение Севера Кыргызской Республики. По фактическим данным из потреблённых в 2010 году на Севере Республики 6958 млн. кВт∙ч электроэнергии через Узбекские и Казахские сети прошло 2840 млн. кВт∙ч. электроэнергии или 40,8 %.

Не решает проблему устойчивости и строительство ЛЭП-500 кВ «Датка - Кемин» и подстанций «Датка» и «Кемин», так как ежегодно увеличивается электропотребление населением, как на бытовые цели, так и на электроотопление. Это связано с непрерывным переселением части сельских жителей в пригороды Бишкека, высокой стоимостью природного газа, а также довольно высокой стоимостью добычи, погрузки, разгрузки и транспортировки угля и его неэкологичностью сжигания и утилизацией золы.

# Исходя из сказанного, в случае выхода из Объединённой энергосистемы Средней Азии и Южного Казахстана, одной из энергосистем сопредельных республик, энергосистема Кыргызстана превращается в систему ограниченной мощности, с низкой пропускной способностью и не удовлетворяющей требованиям устойчивости.

В последние годы в практике эксплуатации электрических систем все чаще встаёт вопрос о переходе на изолированное электроснабжение некоторых энергосистем, ранее входивших в Объединённые энергосистемы. В зависимости от числа электрических станций и конфигурации электрической сети такая энергосистема может быть оценена как простейшая, простая и сложная. Сложность системы при проведении исследований и расчётов зависит также от того, какие расчётные уравнения (математическая модель) положены в основу исследования.

Обычно в практике эксплуатации в энергосистемах небольшой мощности с числом генераторных станций, большем двух, в инженерных расчётах часто ограничиваются приближёнными критериями устойчивости, теми же, что и в случае параллельной работы двух эквивалентных генераторных станций (двухмашинная схема электрической системы) (рис. 1).



**Рис. 1. Схема системы ограниченной мощности с двумя эквивалентными генераторными станциями**

Переходя к определению основных понятий системы ограниченной мощности и исследованию её режимов работы, следует признать, что все основные положения и определения, присущие системам неограниченной мощности остаются в силе и для этих систем. Однако основная трудность, с которой приходится сталкиваться в этом случае, заключается в отсутствии закреплённой оси отсчёта положений векторов ЭДС генераторов. Следствием этого является отсутствие чёткого определения синхронизирующей мощности, а также в определении положения ротора генератора и выборе величины, характеризующей изменение режима электрической системы под действием момента на валу генератора.

Математическая основа для расчёта основных параметров и режимов работы систем ограниченной мощности должна наиболее полно отражать схему замещения реальной энергосистемы.

Общей целью диссертации является определение основных направлений и конкретных мероприятий по повышению устойчивости Кыргызской энергосистемы.

**Конкретными задачами работы является:**

1. Разработка методики расчёта, основных положений и определений, присущих электрическим системам ограниченной мощности;

2. Анализ основных характерных особенностей электроэнергетических систем ограниченной мощности;

3. Составление математической модели с учётом возможных допущений;

4. Определение синхронизирующей мощности, оси отсчёта, характеристик мощности и других параметров, присущих электроэнергетической системе ограниченной мощности;

5. Применение различных методов расчёта статической устойчивости электроэнергетических систем ограниченной мощности;

6. Анализ устойчивости режимов электроэнергетической системы ограниченной мощности;

7. Анализ влияния систем автоматического регулирования возбуждения генераторов на устойчивость электроэнергетических систем ограниченной мощности;

8. Использование других практических способов повышения статической устойчивости электроэнергетических систем ограниченной мощности;

9. Разработка организационных мероприятий по надёжному режиму работы электроэнергетической системы.

Для решения этих задач под руководством и при участии автора были проведены следующие основные исследования, определяющие научную новизну результатов данной диссертации:

1. Доказана, что энергосистема КР может быть сведена к двухмашинной системе со слабой связью без балансирующего узла.
2. Разработана методологическая основа применения теории механических систем к электроэнергетическим системам, позволяющая использовать традиционные методы исследования устойчивости к системам ограниченной мощности.
3. Разработаны и обоснованы принципы разбиения общей задачи на ряд подзадач, состав и последовательность которых определяется содержанием конкретного исследования. При этом каждой из подзадач соответствует такое математическое описание ЭЭС, которое определяется техническим содержанием подзадачи и ее информационной обеспеченностью.
4. Разработана методика, алгоритм и программа расчета двухмашинной электроэнергетической системы ограниченной мощности, позволяющая исследовать переходные процессы при различных режимах ее работы, что позволяет выделить режимные мероприятия, позволяющие повысить устойчивость системы.
5. Предложена методика определения синхронизирующей мощности и балансирующего узла в электроэнергетической системе ограниченной мощности, позволяющая учитывать изменение частоты при возникновении небаланса по активной мощности в системе.

**Практическая ценность и реализация результатов работы.** Проведенные теоретические исследования по повышению устойчивости электроэнергетической системы ограниченной мощности реализованы в виде методик, алгоритмов и программ, разработанных под руководством и при участии автора, в том числе:

* Разработано и внедрено методическое указание по устойчивости генераторов Каскада Токтогульских ГЭС;
* На примере энергосистемы Юга Кыргызстана показано, что при утяжелении режима каскада Нарынских ГЭС статическая устойчивость сохраняется. При этом определены условия применимости практических критериев устойчивости. Результаты проведенных исследований вошли составной частью в методические указания по устойчивости генераторов каскада Токтогульских ГЭС;
* Были проведены исследования влияния устройств продольной и поперечной компенсации реактивной мощности на повышение надежности, увеличение пропускной способности и улучшению режимов работы Каскада Токтогульской ГЭС в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах;
* Даны практические рекомендации по расчету и выбору устройств продольной и поперечной компенсации реактивной мощности, было определено оптимальное размещение их в сетях 500 кВ Кыргызской энергосистемы для повышения качества передаваемой электроэнергии;
* Подан патент на изобретение по способу определения балансирующего узла в ЭС ограниченной мощности.

**На защиту выносятся:**

1. Математическое описание элементов электроэнергетической системы с формированием и разбиением их на подзадачи, определяемые ее техническим содержанием и информационной обеспеченностью.
2. Методика определения балансирующего узла в двухмашинной системе ограниченной мощности с применением теории механических систем к электроэнергетическим системам.
3. Методика и алгоритмы расчета исследования переходных процессов в двухмашинной системе ограниченной мощности с использованием скользящих параметров балансирующего узла.
4. Предложена методика определения синхронизирующей мощности и балансирующего узла в электроэнергетической системе ограниченной мощности, позволяющая учитывать изменение частоты при возникновении небаланса по активной мощности в системе.

**Апробация работы:** Включенные в диссертацию результаты докладывались на международных и региональных конференциях и совещаниях (1978-2012 гг.): Всесоюзной конференции «Опыт создания гидромеханического и электротехнического оборудования для ГАЭС» (Киев, 1978), на координационном совещании по проектированию АС ЭМПЧ в энергосистемах (Рига, 1979), республиканской научно-технической конференции, посвященной 60-летию плана ГОЭЛРО (Фрунзе, 1980), Всесоюзной конференции «Импульсные источники энергии для физических и термоядерных исследований» (Юрмала, 1983), IX Всесоюзной научной конференции «моделирование электроэнергетических систем» (Рига,1987), республиканской конференции «Основные направления экономии энергоресурсов» (Бишкек, 1989), юбилейной конференции КГТУ, №14, 2008), Международной конференции «Управление режимами энергосистем» (Благовещенск, 2011).

**Публикации.** По материалам диссертационной работы опубликовано 28 печатных работ (см. список публикаций), в том числе 1 монография единоличная.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, 5-ти приложений и списка использованной литературы. Общий объем 341 страницы основного текста (включая 64 рисунка). Список литературы содержит 201 наименования.

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

***Во введении*** дается краткая характеристика развития электроэнергетических систем и особенности электроэнергетической системы Кыргызской Республики.

***В первой главе*,** озаглавленной «Обзор и анализ существующих методов исследования переходных процессов и способов повышения устойчивости ЭЭС ограниченной мощности», дан краткий анализ существующих подходов и методов исследования переходных процессов и способов повышения устойчивости ЭЭС ограниченной мощности. В этой главе показан разработанный автором подход и возможность приведения электроэнергетической системы Кыргызской Республики к двухмашинной системе, обосновывается понятие «системы ограниченной мощности», способы повышения устойчивости, применительно к системе ограниченной мощности. Приведен анализ по выбору математических моделей ЭЭС. При этом модели системы и применяемые вычислительные методы должны изменяться по ходу переходного процесса и приспосабливаться к качественным характеристикам каждой фазы, каждого этапа переходного процесса. В этой связи наиболее приемлемым является представление моделей по полным уравнениям Горева-Парка с последующим ее упрощением.

Синхронизирующая мощность генератора есть реально существующая физическая величина независимо от того, какая математическая модель используется для ее представления. Поэтому возникает необходимость установить математическую формулировку синхронизирующей мощности для общего случая электрической системы без шин бесконечной мощности и принять условие для ее определения.

В условиях отсутствия шин бесконечной мощности, что присуще системам ограниченной мощности весьма важной задачей является определение балансирующей точки (или узла), где можно считать, что напряжение неизменно.

Основным мероприятием по повышению устойчивости следует считать применение регуляторов первичных двигателей и применение автоматических регуляторов возбуждения, а также мероприятия, основанные на улучшении параметров элементов ЭЭС.

При этом основная трудность, с которой приходится считаться при изучении системы ограниченной мощности и при определении синхронизирующей мощности заключается в отсутствии закреплённой оси отсчёта углов. Это связано с тем, что при увеличении момента на валу одного генератора и неизменных моментах других генераторов в системе возникает небаланс по активной мощности и, как следствие его, увеличение частоты в системе. Происходит перераспределение активных мощностей нагрузок и генераторов системы соответственно регулирующим эффектам нагрузок по частоте и моментно-скоростным характеристикам турбин. В общем случае все взаимные углы между роторами генераторов изменятся; при этом нельзя отдавать предпочтение какому-либо одному взаимному углу в качестве координаты для подсчёта синхронизирующего момента, так же как представляется невозможным выделить абсолютный угол вылета нагруженного генератора.

В связи с этим возникает необходимость в выборе оси отсчёта углов генераторов и в формулировке правила её отыскания.

Решающее значение при определении статической устойчивости системы имеют механические характеристики генераторов - зависимости дополнительного момента на валу каждого генератора от смещения ротора генератора из положения равновесия. Эти характеристики иногда можно заменить электрическими характеристиками мощности. Из этого основного положения и необходимо исходить, давая определение характеристики мощности синхронного генератора, работающего в электрической системе без шин бесконечной мощности. Эта зависимость должна связывать дополнительный механический момент на валу генератора и некоторую величину, характеризующую смещение ротора генератора под действием этого момента. В системе ограниченной мощности возникают затруднения в определении положения ротора и выборе величины, характеризующей изменение режима электрической системы под воздействием момента на валу генератора. Эти трудности могут быть преодолены тем же путём, как и в случае синхронизирующей мощности – выбором специальной оси отсчёта углов для оценки геометрического положения ротора каждого генератора относительно совокупности роторов всех других генераторов системы.

Существенной особенностью электроэнергетических систем ограниченной мощности, которую необходимо учитывать при анализе и теоретических выкладках состоит в различии между характеристикой мощности и моментной характеристикой. В системах же с шинами неограниченной мощности в упрощённых расчётах при определении статической и динамической устойчивости обычно принимают *ΔМ = ΔР,* а их характеристики совпадающими. В системе же ограниченной мощности наблюдается различие между характеристикой мощности и моментной характеристикой в функции от взаимного угла.

Математической основой для расчёта характеристик мощности генераторов в системе ограниченной мощности может служить наиболее полная модель электрической системы типа «С», в которой совокупность применяемых уравнений достаточно точно описывают все этапы переходного процесса объекта от некоторого возмущения до нового послеаварийного стационарного режима и основное внимание уделено учёту факторов, определяющих изменение частоты.

Среди практических методов расчёта статической устойчивости электрических систем ограниченной мощности наиболее приемлемым является целесообразность использования метода малых колебаний, как наиболее универсального. Этот метод широко применяется для исследования статической устойчивости состояния равновесия или установившегося движения в самых разнообразных технических задачах.

Важной проблемой электроэнергетических систем ограниченной мощности является разработка способов повышения устойчивости и надёжности их работы, к числу которых могут быть отнесены:

* Обеспечение надёжного резерва генерирующих источников энергии и наличие разветвлённой электрической сети;
* Повышение устойчивости с помощью регуляторов первичных двигателей;
* Применение автоматических регуляторов возбуждения;
* Мероприятия, основанные на улучшении параметров элементов ЭЭС;
* Дополнительные устройства для повышения уровня устойчивости ЭЭС;
* Режимные мероприятия по повышению устойчивости;
* Оснащение системы достаточным количеством автоматических устройств регулирования нагрузки и частоты и других противоаварийных устройств, а также средствами для диспетчерского контроля и ведения режима.

При этом возможно совмещение функций способов повышения устойчивости с другими задачами управления нормальными и аварийными режимами (снижение потерь в электрических сетях, минимизация расходов топлива и др.).

При выборе мероприятия по повышению устойчивости необходима технико-экономическая оценка предлагаемого варианта.

Кыргызская энергосистема, как указывалось выше, характеризуется наличием большого количества гидроэлектростанций, которые в общем удельном весе всех электростанций составляют 81%.

Гидроэлектростанции как источники электрической энергии имеют существенное преимущество перед тепловыми электростанциями. Гидроагрегаты ГЭС лучше приспособлены для автоматизации, обладают очень высокой маневренностью и способны быстро изменять мощность в соответствии с изменением нагрузки потребителей без заметного ухудшения своих эксплуатационных показателей. В аварийных условиях дефицита мощности в энергосистеме ГЭС обеспечивают быстрый ввод дополнительной мощности, что повышает статическую и динамическую устойчивость системы и надёжность энергоснабжения потребителей, позволяет уменьшить резервные мощности на тепловых станциях.

Регулирование мощности производится в соответствии с изменением нагрузки в пределах нормального регулировочного диапазона, который для радиально-осевых турбин составляет от 100 до 50%, а для поворотно-лопастных турбин – от 100 до 25%.

В рабочем режиме повышение статической устойчивости может быть обеспечено недогрузкой части гидроагрегатов системы и быстрый набор ими недостающей мощности при возникновении дефицита. В аварийных условиях ввод недостающей мощности может быть также обеспечен недогрузкой части рабочих гидроагрегатов и введением в работу резервных.

Для этих же целей могут быть использованы и гидроагрегаты пиковых ГЭС. С этой точки зрения может быть дополнительно обоснована целесообразность завершения строительства Камбаратинской ГЭС-1 проектной мощностью 1900 МВт и среднемноголетней выработкой электроэнергии в объёме около 5164 млн. кВт.ч.

Особенно важное значение эти факторы играют в энергосистемах ограниченной мощности, в частности в Кыргызской энергосистеме. Эти сети строились в расчёте на параллельную работу с Казахской и Узбекской энергосистемами, в результате чего выдача мощности с каскада Нарынских ГЭС на Юге республики (место концентрации мощностей) на Север (место концентрации потребителей нагрузки) осуществляется по единственной в республике ЛЭП-500 кВ Токтогульская ГЭС – ПС «Фрунзенская». Таким образом, и надежность работы Кыргызской энергосистемы и её устойчивость, оказались зависимыми от энергосистем Казахстана и Узбекистана.

Единственным выходом из этого положения является строительство второй взаиморезервирующей линии напряжением 500 кВ ПС «Датка» на Юге республики до ПС «Кемин» на Севере, которое было запроектировано для выдачи мощности со строящихся Камбаратинских ГЭС-1, 2.

Также должно быть обеспечено взаиморезервирование всех системообразующих электрических сетей, а также районных и местных электрических сетей, питающих наиболее ответственных потребителей.

Автоматическое регулирование возбуждения (АРВ) синхронных машин является одни из наиболее эффективных способов обеспечения устойчивости работы энергосистем. При наличии у генераторов автоматических регуляторов возбуждения, контролирующих напряжение на шинах, они, реагируя на понижение напряжения при возрастании угла δ, будут увеличивать ток возбуждения генераторов, а с ними и ЭДС до тех пор, пока не восстановят прежнее значение напряжения.

Проводя итого первой главы можно сказать, что выбор той или иной модели зависит от специфики конкретной решаемой технической задачи. При этом модель системы и применяемые вычислительные методы должны изменяться по ходу переходного процесса и приспосабливаться к качественным характеристикам каждой фазы, каждого этапа переходного процесса. В этой связи наиболее приемлемым является представление моделей по полным уравнениям Горева-Парка с последующим ее уравнением.

Основным мероприятием по повышению устойчивости следует считать применение регуляторов первичных двигателей и применение автоматических регуляторов возбуждения, а также мероприятия, основанные на улучшении параметров элементов ЭЭС.

***Во второй главе*** рассмотрены различные типы математических моделей: модель типа «А», модель типа «В» и модель типа «С». Все эти типы моделей отражают все основные свойства электроэнергетических систем в части переходных процессов и могут быть использованы при решении широкого круга исследовательских и практических вопросов их проектирования и эксплуатации.

Наиболее простой математической моделью электроэнергетической системы ограниченной мощности с произвольным числом источников энергии (станций, генераторов), является такая, в которой все электрические нагрузки замещаются неизменными сопротивлениями, все присоединённые к электрической сети генераторы считаются неявнополюсными, а их электродвижущие силы (ЭДС), подключённые за неизменным сопротивлением генератора *Х*, которое входит в состав суммарного сопротивления сети – постоянными (*Е = const*). Тогда составить модель синхронной машины – это значит определить, какое именно сопротивление генератора ( или ) должно быть использовано, и привести алгоритм расчёта модуля и фазы ЭДС *Е*. Эта математическая модель получила название - модель типа «А».

Математическое описание модели типа «А» (окончательная система дифференциальных уравнений) составляется из дифференциальных уравнений, описывающих механическое движение роторов синхронных генераторов, алгебраических уравнений электрического состояния схемы и соотношений между переменными величинами абсолютных и взаимных углов сдвига ЭДС генераторов и сети.

Рассмотрим, две параллельно работающие на общую нагрузку электростанции (рис. 2).



**Рис. 2. Принципиальная схема и схема замещения системы с двумя электростанциями**

Для двухмашинной схемы замещения электроэнергетической системы ограниченной мощности уравнения движения роторов обоих генераторов параллельно работающих электростанций могут быть записаны в следующем виде:

 (1)

Так как уравнения нелинейны, они должны быть линеаризованы путём разложения функции *ΔР* в ряд Тэйлора и соответствующих преобразований. Эти действия приводят к простому линейному дифференциальному уравнению, решение которого сводится к определению корней.

Значительные упрощения, принятые при составлении модели типа «А», не позволяют её использовать для расчёта переходных процессов и устойчивости сложных электроэнергетических систем. Поэтому для того, чтобы рассчитать режим такой электрической системы или дать оценку её устойчивости (статической или динамической), необходима более точная модель, пригодная для систем с явнополюсными генераторами, так как у них синхронные индуктивные сопротивления  и  различны, и для учёта действия АРВ.

Этим требованиям удовлетворяет модель типа «В», в которой с целью упрощения схемы статорные обмотки должны быть исключены из общей электрической схемы, которая помимо узла с ЭДС каждого генератора должна иметь и узел, к которому этот генератор должен быть подключён. Напряжение и его фазовый угол должны быть включены в число переменных величин системы уравнений.

Дополнительное существенное уточнение математической модели типа «В» можно получить, если отказаться от замещения нагрузок электрической системы постоянными сопротивлениями и предусмотреть представление нагрузок их статическими характеристиками по напряжению – зависимостями активной и реактивной мощностей каждой нагрузки от напряжения в узле её подключения. Из этого следует необходимость выделения из общей электрической схемы всех узлов с подключёнными нагрузками.

При этом используются выражения для активной и реактивной мощностей по обоим концам всех линий электропередачи и других элементов электрической схемы, связывающих узлы сети, и дополнять их уравнениями баланса активной и реактивной мощности во всех узлах схемы.

Обозначим также модули векторов напряжения в узлах *i* и *j* через и абсолютные углы векторов, отсчитываемых от некоторой синхронно вращающейся оси  и . Тогда для каждой ветви электрической сети, расположенной между *i*-м и *j*-м узлами*,*







 (2)

Для каждого узла электрической сети активная и реактивная мощность каждого генератора, подключённого к соответствующему узлу, определяются по формулам

 (3)

В целом для обычных режимов и устойчивости электрических систем модель типа «В» вполне пригодна и в тех или иных модификациях широко применяется в качестве основы для промышленных программ расчёта электрических режимов.

Математической основой для расчёта характеристик мощности генераторов в электрической системе неограниченной мощности любой сложности может служить модель типа «С», предназначенная для исследования длительных электромеханических переходных процессов (порядка нескольких минут, иногда десяток минут). Изменение частоты в этих условиях становится фактором первостепенной важности, определяющим общее состояние системы.

Необходимо отметить, что включение частоты в системе в число неизвестных величин – не просто уточнение математической модели в результате учёта ещё одного фактора, это радикальное изменение модели, переводящее её в совершенно другой класс. Если модели типа «А» и «В» предназначены для исследования взаимного движения генераторов, то модель, описывающая длительные переходные процессы в системе, должна отражать достаточно полно и абсолютное движение системы.

Для двухмашинной системы ограниченной мощности уравнения движения ротора генераторов должны быть записаны через моменты, значения которых напрямую зависят от частоты.

 (4)

Для этой же схемы электроэнергетической системы уравнения активной и реактивной мощности имеют вид

 (5)

 (6)

Особенность этих уравнений в отличии от аналогичных уравнений математических моделей типа «А» и «В» заключатся в том, что собственные и взаимные проводимости связей между узлами электрической сети не остаются постоянными в течение переходного процесса, а меняются в соответствии с изменении частоты в узлах примыкания.

***В третьей главе***, названной «Примечание основных положений механики к электроэнергетическим системам ограниченной мощности», рассмотрены основные понятия теории механических систем применительно к ЭЭС. Впервые на эту проблему обратил внимание один из создателей учения об устойчивости электрических систем П.С. Жданов. Разработанная им механическая модель представляла собой далеко идущую аналогию электрической системы, используемую для анализа статической и динамической устойчивости, а также качаний параллельно работающих синхронных генераторов при различных нарушениях их режима.

Наглядной иллюстрацией зависимости мощности (момента) турбины от угла сдвига *δ* является механическая система дисков, моделирующих работу блока турбина-генератор (рис. 3).



**Рис. 3. Схема механического аналога блока турбина генератор**

Диски связаны друг с другом при помощи пружин. При отсутствии трения приводящий диск, моделирующий поле ротора, связанного с турбиной, и приводимый диск, моделирующий поле статора генератора, не образуют угла сдвига относительно друг друга. При появлении тормозящего момента (реакции статора) пружины начнут растягиваться, а диски смещаться относительно друг друга. Очевидно, что при увеличении тормозящего момента может произойти поворот одного диска относительно другого, что будет нарушением устойчивости рассматриваемой системы.

Статическая и динамическая устойчивость электрических систем есть устойчивость механического движения роторов синхронных генераторов, а переходные процессы, возникающие при аварийных воздействиях – это, прежде всего, механическое движение роторов генераторов. Таким образом, электрическая система с точки зрения исследования состояния роторов в нормальных и аварийных режимах должна рассматриваться как система механическая, включающая в себя несколько инерционных масс, движущихся под воздействием электромагнитных сил, передающих усилия с вала одного генератора на валы других синхронных машин. Изменение положения или скорости одного из генераторов немедленно передаётся на все остальные генераторы и побуждает их роторы также изменить своё положение или скорость вращения. Роторы генераторов при этом нужно рассматривать, как материальные тела, механическое движение которых и составляет предмет изучения теории электромеханических переходных процессов в электроэнергетической системе. Таким образом, электрическая система, рассматриваемая с подобной точки зрения, может быть классифицирована как материальная система, так как полностью удовлетворяет всем законам механических систем.

В то же время, существенным отличием электрических систем от других технических установок является синхронность вращения роторов генераторов, которые, будучи часто расположенными в отдалённых друг от друга географических пунктах, вращаются с одинаковой скоростью, как будто они соединены между собой жёсткой механической связью.

Другое существенное отличие ротора генератора как материального тела заключается в ограничении степеней свободы, вызванных конструкциями опор и подшипников, позволяющих ему вращаться лишь вокруг одной оси. Таким образом, ротор каждого генератора имеет всего одну степень свободы.

В связи с этим возникает задача проверки применимости к электрическим системам в подобной идеализации основных законов теории механических систем. Электрическая система при этом может быть представлена в существенно упрощённом виде, которому соответствует

математическая модель типа «А», основой которой является уравнение движения ротора генератора.

Центр инерции электрической системы является понятием, аналогичным центру тяжести системы материальных тел, но распространённым на вращательное движение нескольких тел вокруг одной оси. В принятом воображаемом одномерном пространстве понятие центра инерции и центра тяжести совпадают, и соответствующая координата может быть определена по выражению,

. (7)

где - суммарная постоянная времени механической инерции системы, определяемая суммой постоянных инерций каждого генератора, входящего в состав электроэнергетической системы

. (8)

По аналогии с механическими системами, в которых скорость движения центра масс есть производная , а ускорение – вторая производная пути по времени , скорость и ускорение движения центра инерции электрической системы могут быть определены аналогичным способом

 (9)

 (10)

По разработанной автором методике также определяется характеристическое уравнение, описывающее движение *k-*й машины относительно центра инерции. Для этого из уравнения абсолютного движения *k-*й машины

 (11)

необходимо вычесть уравнение движения центра инерции

 (12)

В результате получим характеристическое уравнение *k-*й машины

, (13)

который после преобразований примет вид

 (14)

где – координата, указывающая положение ротора *k-*й машины относительно центра инерции.

По аналогии с этим уравнением можно получить характеристическое уравнение любой из машин системы, описывающее её движение относительно центра инерции

 (15)

В заключении можно сказать, что изменение положения или скорости одного из генераторов немедленно передаётся на все остальные генераторы и побуждает их роторы также изменить своё положение или скорость вращения. Роторы генераторов при этом можно рассматривать, как материальные тела, механическое движение которых и составляет предмет изучения теории электромеханических переходных процессов в электроэнергетической системе. Таким образом, электрическая система, рассматриваемая с подобной точки зрения, может быть классифицирована как материальная система, так как полностью удовлетворяет всем законам механических систем.

***В четвертой главе***, озаглавленной «Основные расчетные характеристики и методы расчета статической устойчивости электроэнергетических систем ограниченной мощности» приведена разработанная автором методика определения синхронизирующей мощности и относительного ускорения при работе двух электростанций на общую нагрузку. Показано, что предел устойчивости такой системы лежит между максимумом и минимумом характеристик мощности этих станций. Однако разница между предельными режимами обычно невелика, и тогда в таком случае можно считать, что действительный предел мощности удалённой станции является одновременно и пределом устойчивости. Тогда вместо вычисления относительного ускорения  можно ограничиться вычислением синхронизирующей мощности удалённой станции  Характеристика мощности второй станции в этом случае несущественна и расчёт можно вести лишь для одной, более мощной и удалённой станции.

В разработанной автором методике определения синхронизирующей мощности и оси отсчета угла δ электроэнергетической системы ограниченной мощности приводятся отличительные особенности при решении этих вопросов, которые заключаются в следующем: если принять для синхронизирующей мощности (момента) прежнее определение – отношение приращения мощности (электромагнитного момента) к приращению абсолютного угла вылета ротора (), то в системе ограниченной мощности последняя величина определена быть не может. При этом главная трудность, с которой приходится сталкиваться при расчёте систем ограниченной мощности, заключается в отсутствии закреплённой оси отсчёта угла *δ.* Поэтому весьма важно установить математическую формулировку синхронизирующей мощности для общего случая электрической системы без шин бесконечной мощности и принять условия по её определению.

Для этих целей может быть использован обратный порядок определения синхронизирующей мощности – по заданному изменению момента на валу определять изменение абсолютного угла смещения ротора и отношение этих величин считать синхронизирующей мощностью. Главная трудность при этом, естественно, не устраняется; по-прежнему сложно оценить абсолютное положение ротора. Для решения этой проблемы и определения синхронизирующего момента (мощности) предлагается к валу выбранного генератора приложить достаточно малый по величине дополнительный вращающий момент и зафиксировать деформацию электрической системы при неизменных вращающих моментах на валах всех остальных генераторов. Отношение дополнительного момента на валу генератора к некоторой геометрической величине, пока неизвестной, характеризующей изменение взаимного положения роторов всех генераторов и одновременно изменение абсолютного угла смещения ротора выбранного генератора, и будет считаться синхронизирующим моментом (мощностью).

Особенность этого предложения заключается в том, что при увеличении момента на валу одного генератора и неизменных моментах других генераторов в системе возникает небаланс по активной мощности и, как следствие его, увеличение частоты в системе. Происходит перераспределение активных мощностей нагрузок и генераторов системы соответственно регулирующим эффектам нагрузок по частоте и моментно-скоростным характеристикам турбин. В общем случае все взаимные углы между роторами генераторов изменятся; при этом нельзя отдавать предпочтение какому-либо одному взаимному углу в качестве координаты для подсчёта синхронизирующего момента, так же как представляется невозможным выделить абсолютный угол смещения нагруженного генератора.

Искомая координата, изменение которой определяет синхронизирующий момент (мощность), может быть найдена с использованием энергетических соотношений, аналогично механическим системам.

***В пятой главе*,** озаглавленной «Анализ методов расчета ЭЭС ограниченной мощности и основные мероприятия по повышению ее устойчивости» рассмотрены вопросы причин нарушения статической устойчивости. Проведен анализ статической устойчивости ЭЭС без регулирования возбуждения и при действии различных видов АРВ с соответствующим выбором сигналов регулирования. Определены условия применимости. Проведены расчеты статической устойчивости при утяжелении режимов станций энергосистемы Юга Кыргызстана (нижненарынский каскад ГЭС). На основании проведенных расчетов по компенсации реактивной мощности на ЛЭП 500 кВ Токтогульская ГЭС – ПС «Фрунзенская» определены их влияние на пределы передаваемой мощности и оптимальное размещение устройств продольной и поперечной компенсации их на данном участке сети.

Известно, что величина запаса статической устойчивости имеет существенное практическое значение. При изменениях режима системы он может приближаться к режиму, предельному по условиям статической устойчивости. Такое приближение режима к предельному называется ухудшением или утяжелением режима. Имеющийся в данном режиме запас статической устойчивости определяет меру возможности ухудшения режима до нарушения статической устойчивости.

Действительное ухудшение режима энергетической системы сводится в большинстве случаев к увеличению активной и реактивной нагрузок потребителей энергетической системы. При этом растут углы сдвига роторов части генераторов относительно остальной системы. Пока в системе не исчерпаны резервы реактивной мощности, нормальный уровень напряжений может при этом сохраняться. В этом случае только рост углов сдвига роторов генераторов позволяет судить об ухудшении режима с точки зрения статической устойчивости. Если же резервы реактивной мощности исчерпаны, то при ухудшении режима напряжения снижаются, что, как мы увидим ниже, является также одним из существенных признаков опасности нарушения статической устойчивости.

В силу сказанного величина запаса статической устойчивости может контролироваться величинами углов сдвига роторов генераторов и напряжений в сети.

Во избежание нарушений статической устойчивости в нормальном режиме углы сдвига генераторов должны быть ограничены определенными пределами и не должно допускаться понижение напряжения в основных точках системы (контрольных точках) ниже определенного уровня. В связи с этим при регулировании режима системы возникают следующие задачи: 1) установление предельных углов сдвига роторов генераторов или (что практически эквивалентно) предельных мощностей передачи и 2) установление уровней напряжения в контрольных точках, предельных по условиям статической устойчивости. Приближение к этим предельным значениям, близким к пределу статической устойчивости, требует бдительности персонала, который должен принять все меры во избежание дальнейшего ухудшения режима и нарушения устойчивости.

Особо важное значение для надежной работы системы имеет наличие достаточного запаса статической устойчивости в послеаварийном режиме.

Если в результате аварии установился устойчивый послеаварийный режим с приемлемыми для эксплуатации параметрами, то это еще не говорит о благополучном исходе аварии, так как данный послеаварийный режим может не обладать достаточным запасом статической устойчивости. Этот запас необходим в связи с возможностью ухудшения режима в первые несколько минут после аварии, когда эксплуатационный персонал еще не успевает предпринять нужные меры для улучшения режима. Обычно это ухудшение режима может быть связано с общим ростом нагрузки в системе, если авария произошла в часы роста нагрузки, или с пуском отключившихся при коротком замыкании двигателей.

Запас устойчивости послеаварийного режима характеризуется достаточным отличием параметров режима системы от их предельных значений. Величина запаса статической устойчивости послеаварийного режима определяется степенью ухудшения параметров режима, при которой режим становится предельным по статической устойчивости.

Величина запаса статической устойчивости в послеаварийном режиме может быть принята меньшей, чем в нормальном режиме. Обычно ее принимают равной 5 - 10%, в то время как для нормального режима запас устойчивости желательно иметь не менее 15 - 20%. (Эти величины относятся к увеличению мощности передачи.) Указанные величины пока еще не имеют строгих обоснований и базируются на эксплуатационном опыте.

Как видно из изложенного, запас устойчивости определяется мерой возможного ухудшения режима. Если ухудшение режима, приводящее к снижению статической устойчивости, может быть различным, то указание величины запаса устойчивости еще не характеризует действительных условий; требуется еще указание, при каком виде ухудшения режима (рост нагрузок, увеличение нагрузки передачи и т. и.) этот запас имеет место.

Возвращаясь к проблеме проверки статической устойчивости некоторого установившегося режима, отметим, что строгое решение задачи требует:

1) составления линеаризованных дифференциальных уравнений малых колебаний для всех элементов системы и их регулирующих устройств;

2) исследования корней характеристического уравнения системы, которое сводится к проверке знаков вещественных корней и вещественных частей комплексных корней.

Исключительная сложность строгого решения этой задачи, впервые разобранной П. С. Ждановым, заставляет искать для инженерных задач более простых, хотя бы и приближенных ее решений. Это относится к различным практическим методам расчета статической устойчивости, базирующиеся на использовании «практических критериев» статической устойчивости и области их применения.

Полное исследование статической устойчивости энергетической системы при помощи практических критериев производится в следующем порядке:

а) Исследуется устойчивость всех генераторов по отношению к ближайшей узловой точке сети по критерию  в предположении неизменности напряжения в этой точке.

б) Исследуется устойчивость всех асинхронных нагрузок по критерию , также по отношению к ближайшей узловой точке сети в предположении неизменности напряжения в ней; здесь  равно разности между мощностью двигателя  и мощностью привода , т. е. .

в) Поочередно исследуется устойчивость напряжения в каждой из узловых точек системы при помощи критерия ; здесь *Q* – есть разность между величиной *QГ* суммарного поступления реактивной мощности в данную узловую точку и реактивной нагрузкой *Qн* в ней, т. е. *Q =QГ - Qн*; при этом в первом случае считаются неизменными напряжения в *n - 1* узловых точках, кроме исследуемой, во втором случае неизменными считаются напряжения в *n - 2* узловых точках, кроме уже исследованной и исследуемой, и т. д.; в последнем случае напряжения всех узловых точек считаются свободно изменяющимися.

г) Исследуется устойчивость частоты в одной из узловых точек по критерию , где P = Pн - PГ.

Практически в таком полном исследовании, обычно нет необходимости.

При передаче мощности от удаленной электростанции в очень мощную систему сомнительной является устойчивость генераторов удаленной станции по отношению к системе, рассматриваемой как шины неизменного напряжения. Для такой системы достаточно проверить знак производной  при увеличении мощности нагрузки удаленной станции или при снижении напряжения на шинах приемной системы, т. е. знак производной по «сомнительной » координате.

Регулирование возбуждением является основным средством повышения устойчивости ЭЭС.

На примере расчета статической устойчивости электропередачи Токтогульская ГЭС – ПС «Фрунзенская» с регуляторами пропорционального и сильного действия с применением метода малых колебаний были определены предельный по условию устойчивости угол δпред и коэффициент запаса по устойчивости.

Следует отметить, что:

1. Все практические критерии позволяют судить о статической устойчивости системы только при апериодических процессах, т. е. при отсутствии возможности самораскачивания.

2. При указанных выше допущениях устойчивость проверяется путем выяснения знака производной по «сомнительной» координате, входящей в состав критерия,— начиная с заведомо устойчивого режима, при ухудшении его вплоть до исследуемого режима.

3. Вначале проверяется устойчивость отдельных ветвей при неизменности напряжения по величине и фазе в узловых точках сети и при неизменности частоты в системе. Затем снимается допущение о неизменности напряжения - сначала в одной узловой точке, а затем в других. Наконец, по критерию ** для последней узловой точки - при полном числе степеней свободы — окончательно проверяется устойчивость системы.

Основной задачей расчетов статической устойчивости в нормальной и ремонтных схемах в процессе эксплуатации является проверка возможности схемы сети по выдаче мощности, выявление ограниченной по статической устойчивости или по условию токовой загрузки элементов сети и уровней напряжения в расчетных узлах, как в нормальных, так и в послеаварийных режимах.

Как указывалось ранее, одной из основных проблем сети Юга Кыргызской энергосистемы являлась ограниченность выдачи мощности с Курпсайской (800 МВт), Ташкумырской (450 МВт) и Шамалдысайской (240 МВт) ГЭС. Через энергоузел включающий в себя Курпсайскую ГЭС и ПС Кристалл связь с энергосистемой осуществлялась через четыре ВЛ-220 кВ:

ВЛ-220 кВ КГЭС- Торобаев (2\*АС-300 Iном-1380 А, Рном-540 МВт),

ВЛ-220 кВ Кристалл- Кзыл-Рават (2\*АС-300 Iном-1380 А, Рном-540 МВт),

ВЛ-220 кВ Кристалл- Сардор (АС-300 Iном-690 А, Рном-270 МВт),

ВЛ-220 кВ Кристалл- Юлдуз (АС-400 Iном-825 А, Рном-330 МВт).

При фактической располагаемой мощности трех ГЭС 1490 МВт, возможно было выдать в энергосистему не более 1350 МВт, в основном из-за токовой загрузки ВЛ-220 кВ Кристалл-Юлдуз. При номинале в 825 А данная линия загружалась до 1000 А. После ввода в работу первого гидрогенератора на Камбар-Атинской ГЭС-2 подключенного к данному энергоузлу через Курпсайскую ГЭС по сетям 110 кВ, величина запертой мощности увеличилась еще на 120 МВт.

Большой переток по ВЛ-220 кВ Кристалл-Юлдуз, а также и по ВЛ-220 кВ Кристалл- Кзыл-Рават и Кристалл- Сардор обусловлен отсутствием генерирующей мощности, при очень большом потреблении (более 1500 МВт) в Ферганском энергоузле Узбекской энергосистемы, т.е фактически вся генерация станций вытягивается в дефицитный энергоузел. Перегруз ВЛ-220 кВ Кристалл-Юлдуз, в некоторых случаях приводил к ее аварийному отключению с последующим набросом мощности и нарушением устойчивости на остающихся в работе ВЛ-220 кВ. С вводом новых объектов по проекту «Модернизация ЛЭП Юга Кыргызстана» в частности с вводом ПС Датка и двухцепной ВЛ-220 кВ Кристалл-Датка вышеуказанная проблема была устранена.

В качестве примера рассмотрим статическую устойчивость станций Юга Кыргызстана (нижние станции каскада Нарынских ГЭС), это Курпсайская, Ташкумырская, Шамалдысайская и Камбаратинская ГЭС-2, рис. 5.28. Расчеты выполнялись для максимальных часов нагрузки характерных летних и зимних суток рис. 5.29. при этом принималось условие по отсутствию самораскачиванию, так как показала практика эксплуатации предшествующих лет указанный режим отсутствовал.

Утяжеление режима выполнялось за счет увеличения генерации станций при увеличении нагрузки на Юге Республики.

Контроль выдачи мощности станциями нижнего каскада, установленной мощностью 1610 МВт осуществляется по сечению:

- Л – Кристалл – Сардор;

- Л – Кристалл – Кызыл-Рават;

- Л – Кристалл – Датка (две цепи);

- Л – Курпсайская ГЭС – Датка;

- Л – Кристалл – Юлдуз.

По условию предотвращения токовой загрузки элементов схемы допустимый переток в рассматриваемом сечении принимается равным 1400 МВт.

Рассмотрим случай, когда работает АРВ пропорционального действия:



При неучете активного сопротивления:



где 

Исходные данные: xd=1,15; xq=0,95; Eq=1,65; U=1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| δ | 0º | 30º | 60º | 90º | 120º | 150º | 180º |
| *A=(Eq\* U/Xd)\*sinδ* | 0 | 0,717 | 1,243 | 1,435 | 1,2427 | 0,7176 | 0 |
| *B=U2\*(Xd-Xq)/(Xd\*Xq)\*sin2δ* | 0 | 0,143 | 0,143 | 0 | -0,143 | -0,143 | 0 |
| *A+B* | 0 | 0,86 | 1,386 | 1,435 | 1,0996 | 0,5745 | 0 |

**Рис. 4. Характеристика мощности гидрогенератора**

Предельный угол определяется решением квадратного уравнения:





, 

Решая квадратное уравнение определяем предельный угол отключения , при этом предельная мощность составила 1,42. Тогда коэффициент запаса будет:

.

Приближение к предельным значениям угла сдвига роторов генераторов требует бдительности персонала, который должен принять все меры во избежание дальнейшего ухудшения режима и нарушения устойчивости.

Исключительно велико значение проблемы повышения устойчивости при передаче энергии на большие расстояния, так как именно этот фактор является основным элементом ограничивающим дальность передачи. Это связано с тем, что индуктивное сопротивление и ёмкостная проводимость линии возрастают с увеличением длины линии, в результате чего допустимое значение передаваемой мощности заметно падает. При этом наиболее радикальным средством решения этой проблемы является компенсация параметров линии электропередачи – её ёмкости и индуктивности, путём последовательного и параллельного включения конденсаторов либо шунтирующих реакторов. Частичная компенсация необходима уже при длине линии прядка 350-400 км.

Включая по концам линии последовательно ёмкостные сопротивления и параллельно индуктивные, получаем схему компенсированной линии, в которой индуктивные сопротивления полностью компенсируют ёмкость линии, а ёмкостные сопротивления - индуктивность линии. Компенсирующие устройства могут быть включены не только по концам, но и на промежуточных участках.

В настоящей главе рассмотрены вопросы компенсации реактивной мощности на ЛЭП 500 кВ Токтогульская ГЭС – ПС «Фрунзенская». Были определены пределы передаваемой мощности и оптимальное размещение устройств компенсации на рассматриваемом участке ЛЭП.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В соответствии с поставленными задачами в данной работе:

1. В настоящее время Кыргызскую энергосистему можно считать энергосистемой ограниченной мощности практически не имеющей резерва мощности.
2. Выбор той или иной модели зависит от специфики конкретной решаемой технической задачи. При этом модель системы и применяемые вычислительные методы должны изменяться по ходу переходного процесса и приспосабливаться к качественным характеристикам каждой фазы, каждого этапа переходного процесса. В этой связи наиболее приемлемым является представление моделей по полным уравнениям Горева-Парка с последующим ее упрощением.
3. Синхронизирующая мощность генератора есть реально существующая физическая величина независимо от того, какая математическая модель используется для ее представления. Поэтому возникает необходимость установить математическую формулировку синхронизирующей мощности для общего случая электрической системы без шин бесконечной мощности и принять условие для ее определения.
4. В условиях отсутствия шин бесконечной мощности, что присуще системам ограниченной мощности весьма важной задачей является определение балансирующей точки (или узла), где можно считать, что напряжение неизменно.
5. Основным мероприятием по повышению устойчивости следует считать применение регуляторов первичных двигателей и применение автоматических регуляторов возбуждения, а также мероприятия, основанные на улучшении параметров элементов ЭЭС.
6. При расчётах установившихся режимов и переходных процессов в электроэнергетической системе приходится иметь дело с совокупностью разнородных элементов, каждый из которых представлен своей схемой замещения или уравнениями, которые должны быть объединены в общую расчётную схему замещения электроэнергетической системы. Вид этой схемы определяется тем классом задач, для которых она предназначена.
7. Моделирование сложной электроэнергетической системы, содержащей несколько генераторов, трансформаторов, линий и нагрузок и т.п., представляет очень трудную задачу, требующую совместного решения систем уравнений синхронных и асинхронных машин, статических нагрузок и линий электропередачи и специально разработанных программ. Произведенный анализ существующих математических моделей типа «А», «В» и «С» показал, что для этих целей более целесообразно применение модели типа «С» с последующим ее упрощением в зависимости от специфики решаемой задачи..
8. Приведена методика моделирования элементов электроэнергетической системы для расчёта переходных процессов.

Показано, что при математическом моделировании электроэнергетических систем важной задачей является правильный выбор и применение тех или иных допущений, хотя и снижающих точность расчётов, но зато упрощающих методику расчёта.

1. Преимуществом применения упрощённых математических моделей (упрощённых уравнений) является не только большая лёгкость в вычислительных операциях, но и большая наглядность, облегчающая понимание происходящих явлений. Применение этих упрощений легло в основу анализа и расчёта электроэнергетических систем ограниченной мощности и помогло решить многие вопросы, возникшие в настоящей диссертационной работе.
2. Проведённый анализ показывает что, электрическая система с точки зрения исследования состояния роторов в нормальных и аварийных режимах может рассматриваться как система механическая, включающая в себя несколько инерционных масс, движущихся под воздействием электромагнитных сил, передающих усилия с вала одного генератора на валы других синхронных машин.
3. Изменение положения или скорости одного из генераторов немедленно передаётся на все остальные генераторы и побуждает их роторы также изменить своё положение или скорость вращения. Роторы генераторов при этом можно рассматривать, как материальные тела, механическое движение которых и составляет предмет изучения теории электромеханических переходных процессов в электроэнергетической системе. Таким образом, электрическая система, рассматриваемая с подобной точки зрения, может быть классифицирована как материальная система, так как полностью удовлетворяет всем законам механических систем.
4. Предложен метод расчета статической устойчивости электрических систем ограниченной мощности, представленных эквивалентной схемой замещения при работе двух электростанций на общую нагрузку. Таким образом, изложенные в [50] теоретические положения доведены до практического применения при расчетах устойчивости реальной энергосистемы на примере энергосистемы Кыргызской Республики.
5. Главная особенность электроэнергетических систем заключается в том, что при увеличении момента на валу одного генератора и неизменных моментах на валах других генераторов в системе возникает небаланс по активной мощности и, как следствие его, увеличение частоты в системе. Происходит перераспределение активных мощностей нагрузок и генераторов системы соответственно регулирующим эффектам нагрузок по частоте и моментно-скоростным характеристикам турбин. В результате этого все взаимные углы между роторами генераторов изменяются; при этом нельзя отдать предпочтение какому-либо одному взаимному углу в качестве координаты для подсчёта синхронизирующего момента, так же как представляется невозможным выделить абсолютный угол смещения ротора нагруженного генератора. Поэтому возникает проблема определения оси отсчёта.
6. Определить же такую ось возможно при использовании некоторых законов механических систем, в частности закона сохранения энергии и работы сил, приложенных к системе. Так как дополнительный момент может быть приложен к любому узлу системы, то и соответственно можно определить такое же количество осей отсчёта. При этом оказывается, что оси отсчёта всех узлов схемы совпадают, что даёт право говорить о центре скольжения системы, аналогичным центру инерции механической системы.
7. Полученное определение оси отсчёта позволяет дать определение синхронизирующей мощности в системе ограниченной мощности, а статическая устойчивость такой системы может характеризоваться совокупностью синхронизирующих мощностей относительно центра скольжения системы для всех узлов схемы.
8. Предложена методика определения синхронизирующей мощности и оси отсчета в электроэнергетической системе ограниченной мощности, позволяющая учитывать изменение частоты при возникновении небаланса по активной мощности в системе.
9. Вывод же, который можно сделать на основании проведённых расчётов по определению характеристик мощности генераторов в системе ограниченной мощности, заключается в следующем. Характеристики мощности в рассматриваемом наиболее общем случае имеют тот же вид и ту же конфигурацию, что и в системе с шинами бесконечной мощности, и различие уменьшается при увеличении мощности системы по сравнению с мощностью рассматриваемого генератора.
10. В качестве общего заключения ещё раз нужно отметить, что понятие статической устойчивости и других, связанных с этим понятием характеристик усложняется, если рассматривать процессы в системе без шин бесконечной мощности.
11. На примере энергосистемы Юга Кыргызстана показано, что при утяжелении режима станций нижнего каскада Нарынских ГЭС статическая устойчивость сохраняется. При этом определены условия применимости практических критериев устойчивости и правильность выбора «сомнительных» координат по углу δ и напряжения в узле нагрузки:  и 
12. Определена устойчивость генераторов Токтогульской ГЭС при 2-х фазном КЗ на линии 500 кВ Токтогульская ГЭС – ПС «Фрунзенская» при работе АРВ сильного действия с применением программы расчета для двухмашинной системы, разработанной автором на кафедре «Электроэнергетика».
13. Показан последовательный переход от сложных к более упрощенным математическим моделям элементов электроэнергетической системы на различных этапах переходного процесса при нарушении режима системы.
14. На основе анализа работы устройств поперечной и продольной компенсации реактивной мощности были выявлены их влияние на предел передаваемой мощности и определено оптимальное размещение их в сетях 500 кВ Кыргызской энергосистемы.

**Список опубликованных работ по теме диссертации:**

1. **Джунуев Т.** Расчет на ЦВМ пусковых режимов насосотурбинных агрегатов ГАЭС. [Текст] / Т. Джунуев // XXIII научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, инженерно-технических работников и аспирантов института, 1977.- 3 с.
2. **Джунуев Т.** Цифровая модель автономной многомашинной системы. [Текст] / Т. Джунуев // Труды ФПИ, Динамика в энергетике, вып. 106, 1978. - 6с.
3. **Джунуев Т.** Асинхронно-синхронный машинный пуск агрегатов ГАЭС [Текст] / Т. Джунуев // Труды МЭИ, вып.383, 1979. - 3с.
4. **Джунуев Т.** Комплекс программ для расчета пусковых режимов агрегатов ГАЭС. [Текст] / Т.Джунуев, Ю.И. Скляревский // Тезисы докл. на Всесоюзной конференции «Опыт создания гидромеханического и электротехнического оборудования для ГАЭС», Киев, 1978. - 6с.
5. **Джунуев Т.** Пуск агрегатов АС ЭМПЧ. [Текст] / Т.Джунуев, Ю.И. Скляревский // Тезисы докл на координационном совещании по премированию АС ЭМПЧ в энергосистемах, Рига, 1979. - 13с.
6. **Джунуев Т.** Синхронный частотный пуск агрегатов ГАЭС в насосный режим. [Текст] / Т. Джунуев // Материалы респ. науч. техн. конференции «Состояние и перспективы развития техн. наук в Киргизии», ФПИ, 1980. - 3 с.
7. **Джунуев Т.** Математическое описание системы «Статический преобразователь частоты - синхронная машина /СПЧ-СМ/» в режиме частотного пуска. [Текст] / Т. Джунуев // Материалы респ. науч. техн. конференция, посвященной 60-летию плана ГОЭЛРО, ФПИ, 1980. - 3 с.
8. **Джунуев Т.** Экспериментальное исследование процесса пуска синхронного двигателя от статического преобразователя частоты. [Текст] /

Т. Джунуев // Сб. научн. трудов ФПИ, «Параметры и динамические режимы электромеханических преобразователей энергии» ФПИ, 1981. - 7с.

1. **Джунуев Т.** Системный метод расчета на ЭВМ переходных процессов в системе СПЧ-СМ. [Текст] / Т. Джунуев // Тезисы докл. респ. семинара «Участие молодых ученых в реализ. науч. пробл». ФПИ, 1983. - 3с.
2. **Джунуев Т.** Пуск ударных генераторов от статического преобразователя частоты. [Текст] / Т.Джунуев, Ю.И. Скляревский // Тезисы докладов на 1-й Всесоюзной конференции «Импульсные источники энергии для физических и термоядерных исследований», Юрмала, 1983. - 2с.
3. **Джунуев Т.** Методика расчета режимов пуска крупных синхронных машин. [Текст] / Т. Джунуев // Сбор. научн. трудов ФПИ «Повышение эффективности работы элементов электроэнергетических систем», ФПИ, 1985. - 7 с.
4. **Джунуев Т.** Система автоматизированной настройки дугогасящих реакторов с плавным регулированием индуктивности. [Текст] / Т.Джунуев, Дж. А.Апышев, К.Б. Осмоналиев // Сборник научных трудов «Электромагнитные поля и режимы работы электромеханических систем», ФПИ, 1986. - 6 с.
5. **Джунуев Т.** Физическое и цифровое моделирование процессов пуска и динамического торможения крупных синхронных машин. [Текст] / Т.Джунуев, Ю.И. Скляревский, Т.И. Попова // IX Всесоюзная научная конференция «Моделирование электроэнергетических систем». Тезисы докладов, Рига, 1987. - 2 с.
6. **Джунуев Т.** Математическая модель пуска крупных синхронных двигателей в СЭС. [Текст] / Т.Джунуев, К.Б. Осмоналиев // Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции «Основные направления экономии энергоресурсов» Бишкек, 1989. - 2 с.
7. **Джунуев Т.** Расчет параметров и пусковых характеристик синхронного двигателя [Текст] / Т.Джунуев, К.Б.Осмоналиев, Ж. Байсынов // Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции «Основные направления экономии энергоресурсов» Бишкек, 1989. - 2 с.
8. **Джунуев Т.** Анализ основных свойств Автономной системы пуска (АСП). [Текст] / Т.Джунуев, К.Б. Осмоналиев // Сборник научных трудов «Повышение эффективности энергосистем и режима работы их элементов», ФПИ, 1989. - 10 с.
9. **Джунуев Т.** Анализ режимов пуска крупной синхронной машины на основе частотных характеристик. [Текст] / Т. Джунуев // Труды МЭИ п.505, 1990 г. - 5 с.
10. **Джунуев Т.** Анализ режимов длительных переходных процессов в современных энергосистемах. [Текст] / Т. Джунуев // Юбилейная конференция КГТУ, №14, 2008. - 7 с.
11. **Джунуев Т.** О наведенных напряжениях на отключенных линиях электропередачи, приходящих параллельно либо вблизи действующих высоковольтных линий. [Текст] / Т.Джунуев, Г.Ш. Эралиева // Теоретический и прикладной научно-технический журнал «Известия» №25, КГТУ, 2011. - 6с.
12. **Джунуев Т.** Об устойчивости электроэнергетической системы ограниченной мощности. [Текст] / Т. Джунуев // Теоретический и прикладной научно-технический журнал «Известия» №25, КГТУ, 2011. - 5 с.
13. **Джунуев Т.** К вопросу исследования длительных переходных процессов. [Текст] / Т.Джунуев, К.М.Мамбетова, Н.Д. Таабалдиева // Теоретический и прикладной научно-технический журнал «Известия» №25, КГТУ, 2011. - 6 с.
14. **Джунуев Т.** О проблемах устойчивости электроэнергетических систем ограниченной мощности. Энергетика: управление качеством, эффективность использования энергоресурсов. [Текст] / Т. Джунуев // Сборник трудов шестой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, том I, Электроэнергетика, Благовещенск, 2011. - 8 с.
15. **Джунуев Т.** Исследование характеристик мощности генераторов в электроэнергетической системе ограниченной мощности. [Текст] / Т. Джунуев // Сборник трудов шестой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, том I, Электроэнергетика, Благовещенск, 2011. - 9 с.
16. **Джунуев Т.** Анализ устойчивости длительных переходных процессов. [Текст] / Т.Джунуев, К.М.Мамбетова, Н.Д. Таабалдиева // Сборник трудов шестой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, том I, Электроэнергетика, Благовещенск, 2011. - 6 с.
17. **Джунуев Т.** Изменение параметров режима при внезапном небалансе мощности в системе. [Текст] / Т. Джунуев // Сборник научных трудов «Известия», КРСУ, 2012. - 6 с.
18. **Джунуев Т.** Анализ устойчивости системы с двумя станциями. [Текст] / Т. Джунуев, М.Т.Абдылдаева // Сборник научных трудов «Известия», КРСУ, 2012. - 5 с.
19. **Джунуев Т.** Об определении квазиустановившегося режима в электроэнергетической системе. [Текст] / Т. Джунуев // Сборник научных трудов «Известия», КГТУ, 2012. - 5 с.
20. **Джунуев Т.** Сравнительный анализ теории катастроф и традиционных методов при расчете устройств ЭС. [Текст] / Т.Джунуев, А.К. Абдымомунова // Сборник научных трудов «Известия», КГТУ, 2012. - 7 с.
21. **Джунуев Т.** Переходные процессы при упрощенном представлении электроэнергетической системы ограниченной мощности. [Текст] / Т.Джунуев, А.Н. Козлов // Сборник научных трудов «Вестник» Амурского государственного университета Энергетика, серия 57, 2012. - 6 с.
22. **Джунуев Т.** Влияние нагрузки на устойчивость электроэнергетической системы ограниченной мощности. [Текст] / Т.Джунуев, А.Н. Козлов // Сборник научных трудов «Вестник» Амурского государственного университета, Энергетика, серия 57, 2012. - 7 с.
23. **Джунуев Т.** Каскадное ограничение аварии в ЭС ограниченной мощности. [Текст] / Т.Джунуев, А.Н. Козлов// Вестник Амурского гос. ун-та. - 2012. - Вып. 59, сер. "Естеств. и экон. науки", - с. 98-101.
24. **Джунуев Т.** Полная модель для исследования переходных процессов электроэнергетических систем ограниченной мощности. [Текст] / Т.Джунуев, А.Н. Козлов // Вестник Амурского гос. ун-та. - 2012. - Вып. 59, сер. "Естеств. и экон. науки", - с. 106-109.

**РЕЗЮМЕ**

**Джунуев Телегендин «Кубаттуулугу чектелүү электрэнергетикалык системди изилдөөнүн усулдук негиздери жана анын статикалык туруктуулугун жогорулатуунун ыкмалары» деген темада 05.14.02 – «Электр чордондору жана электрэнергетикалык системдер» адистиги боюнча техникалык илимдердин доктору деген илимий даража алуу үчүн сунушталган**

Мерчемдүү сөздөр: статикалык туруктуулук, электрэнергетикалык систем, чектелген кубаттулук, электрмагниттик өткөөл жараяндар, дүүлүктүргүч систем, инерция борбору, кубаттуулуктун мүнөздөмөлөрү, жеткирилүүчү кубаттуулуктун чеги.

**Иштин максаты**: кубаттуулугу чектелген электрэнергетикалык системдин туруктуулугун эсептөөнүн теориялык жоболорун иштеп чыгаруу

**Иштин натийжалары:** механикалык системдердин теориясын электроэнергетикалык системдерге колдонуунун усулдук негиздери иштелип чыгарылды, натийжада изилдөөнүн белгилүү ыкмаларын кубаттулугу чектелген системдерге пайдаланууга мүмкүнчүлүк түзүлдү; Изилдөөнүн көлөмүнө жараша жалпы бир маселени бир нечеге бөлүп кароонун жолдору негизделди жана иштелип чыкты. Ар бир майдаланган маселелерге энергосистемдин техникалык курамы, анын математикалык камтылышы жана маалыматтуулугу туура келүүсү керек; эки машиналуу кубаттуулугу чектелген электрэнергетикалык системди эсептеп чыгуунун ыкмасы, алгоритми жана программасы иштелип чыгарылды. Бул ыкма ар кандай режимдердеги өткөл жараяндардаы изилдөөгө мүмкүнчүлүк түзөт жана системдин туруктуулугун жогорулатуучу режимдик иш-чараларды аныктоого мүмкүнчүлүк берет; автоматтык дүүлүктүрүнү жөнгө салууну стабилдештиръънън ыкмасы иштелип чыгарылды.

Диссертация боюнча алынган натийжалар Кыргыз Республикасынын электроэнергетика системинин туруктуулугун аныктоо боюнча эсептөөлөрдү жүргүзүүдө жана генераторлор параметрлерин жөнгө салууда колдонулса болот

**РЕЗЮМЕ**

**диссертации Джунуева Телегена на тему «Методологические основы исследования и способы повышения статической устойчивости электроэнергетической системы ограниченной мощности» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – электростанции и электроэнергетические системы**

Ключевые слова:статическая устойчивость, электроэнергетическая система, ограниченная мощность, электромагнитные переходные процессы, система возбуждения, центр инерции, характеристики мощности, предел передаваемой мощности.

Целью работы является: разработка теоретических положений по расчету устойчивости электрических систем ограниченной мощности.

Результатами работы являются: разработана методологическая основа применения теории механических систем к электроэнергетическим системам, позволяющая использовать традиционные методы исследования устойчивости к системам ограниченной мощности; разработаны и обоснованы принципы разбиения общей задачи на ряд подзадач анализа и синтеза, состав и последовательность которых определяется содержанием конкретного исследования. При этом каждой из подзадач соответствует такое математическое описание ЭЭС, которое определяется техническим содержанием подзадачи и ее информационной обеспеченностью; разработана методика, алгоритм и программа расчета двухмашинной электроэнергетической системы ограниченной мощности, позволяющая исследовать переходные процессы при различных режимах ее работы, что позволяет выделить режимные мероприятия, позволяющие повысить устойчивость системы; предложена методика определения синхронизирующей мощности и балансирующего узла в электроэнергетической системе ограниченной мощности, позволяющая учитывать изменение частоты при возникновении небаланса по активной мощности в системе. Это методика, основанная на методе синтеза структур систем автоматического регулирования высокой точности, позволяет определить параметры режима генератора, используемые для стабилизации.

Полученные результаты могут быть использованы при проведении расчетов устойчивости электроэнергетической системы Кыргызской Республики, при определении настроечных параметров систем регулирования генераторов и частично уже внедрены в ОАО «Электрические станции», что подтверждается соответствующими актами

**RESUME**

**Dzhunuyev Telegen's disetation on the theme «Methodological Basis of Research and Ways of Static Stability Increase’s Electrical Power System of Limited Power» on a scientific degree research of the Doctor of Engineering in the specialty 05.14.02 – Power stations and electrical power systems**

Keywords: static stability, the electrical power system, limited capacity, electromagnetic transients, excitement system, the center of inertia, the power characteristic, limit of the given power.

Results of work are: the methodological basis of application of the theory of mechanical systems to the electrical power systems, allowing to use traditional methods of stability research to limited power systems is developed; the principles of the general task splitting on a number of the analysis subtasks and synthesis are developed and proved, the structure and which sequence is defined by the content of concrete research. Thus to each of subtasks there corresponds such mathematical description of IPS which is defined by maintenance of a subtask and its information security; the technique, algorithm and the program of calculation of two-machine electrical power system of the limited power, allowing to investigate transients at various modes of its work that allows to allocate the regime actions, allowing to increase stability of system is developed; the technique is developed for definition rational on a condition of static stability of structures of stabilization of ARE. It is a technique based on a method of synthesis of structures of systems of automatic control of high precision, allows to determine parameters of a mode of the generator, used for stabilization.

The received results can be used when carrying out calculations of stability of electrical power system of the Kyrgyz Republic, at determination of adjusting parameters of systems of regulation of generators and are partially already introduced in JSC Elektrie stations that is confirmed by the relevant acts