

На правах рукописи

КАЗИМИРО Фаустино Анжелина

**ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ АНГОЛА
ПОСРЕДСТВОМ ОБЪЕДИНЕНИЯ ЕЕ ИЗОЛИРОВАННЫХ ЧАСТЕЙ**

Специальность: 05.14.02 – Электрические станции и
электроэнергетические системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново - 2009

Работа выполнена на кафедре «Электрические системы» ГОУВПО
”Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина”

Научный руководитель:

кандидат технических наук, профессор

Бушуева Ольга Александровна

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

Савельев Виталий Андреевич

кандидат технических наук, доцент

Гречин Владимир Павлович

Ведущая организация

ОАО “Научно – исследовательский институт
по передаче электрической энергии постоянным
током высокого напряжения»
(ОАО НИИПТ, г. Санкт- Петербург)

Защита состоится « 16 » декабря 2009 г. в 11.00 часов на заседании
диссертационного совета Д 212.064.01 при ГОУВПО «Ивановский
государственный энергетический университет имени В. И. Ленина» по
адресу: 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34, Корпус «Б», аудитория 237

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим
присылать по адресу: 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, Ученый
совет ИГЭУ, Тел.: (4932) 38-57-12, факс: (4932) 38-57-01.

E-mail: uch_sovet @ispu..ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО “Ивановский
государственный энергетический университета имени В. И. Ленина”,
автореферат размещен на сайте: www.ispu.ru.

Автореферат разослан «14» ноября 2009г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор

А. В. Мошкарин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время в республике Ангола имеются три независимые энергосистемы: Севера, Центра и Юга. Самой крупной электроэнергетической системой (ЭЭС) является ЭЭС Севера, в ней имеются две крупные электрические станции: ГЭС «Капанда» с установленной мощностью 520 МВт и ГЭС «Канбамбе» с установленной мощностью 180 МВт. В ЭЭС Центра и Юга источниками электроэнергии являются небольшие ГЭС, ГТУ и дизельные станции (ДЭС). Топливо для этих станций доставляется авто или авиатранспортом с завода по переработке нефти, который находится на севере республики.

Анализ состояния энергетической ситуации в республике (глава 1) показал, что в ЭЭС Севера существует избыток мощности генерации, составляющий 550 МВт при нагрузке 277 МВт. К 2015 году электрические нагрузки во всех ЭЭС возрастут и составят величину 529 МВт, а к 2025 году прогнозируется рост электропотребления до 35 ГВт.ч. В центре республики планируется сооружение крупного металлургического завода. На севере республики будут строиться несколько крупных ГЭС (рис. 1.1), суммарная установленная мощность всех ГЭС в перспективе составит 6800 МВт.

Для республики в условиях рыночной экономики актуальной задачей является объединение всех трех изолированных ЭЭС, что позволит создать объединенную электроэнергетическую систему Анголы и обеспечить ее связь через республику Намибия с энергообъединениями юга Африки с целью экспорта электроэнергии.

Эта задача может быть решена, если в качестве межсистемной связи использовать линию сверхвысокого напряжения (СВН) большой пропускной способности с современными установками компенсации реактивной мощности (УКРМ).

В связи с этим, необходимо исследовать режимы объединенной электроэнергетической системы (ОЭС) Анголы и условия сохранения ее статической и динамической устойчивости.

Цель диссертационной работы – повысить устойчивость функционирования электроэнергетической системы республики Ангола посредством объединения ее изолированных частей (Севера, Центра и Юга).

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие основные задачи:

- анализируется энергетическая ситуация в республике, проводятся расчеты установившихся режимов ЭЭС Севера, Центра и Юга в условиях их отдельной работы;
- разрабатывается наиболее целесообразный вариант межсистемной связи для объединения изолированных ЭЭС республики и экспорта электроэнергии с севера Анголы в республики юга Африки;

- предлагается методика выбора сечения проводов ЛЭП сверхвысокого напряжения, учитывающая изменения экономических факторов в условиях Анголы;
- исследуются режимы ОЭС Анголы, обеспечивающие наибольшую пропускную способность ЛЭП за счет применения на ней управляемых шунтирующих реакторов;
- исследуются статическая и динамическая устойчивости объединенной электроэнергетической системы с использованием современных программных средств;
- анализируется влияние УКРМ на режимы и устойчивую работу ОЭС Анголы.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались методы решения систем нелинейных уравнений, теория электрических цепей, методы расчета ЛЭП сверхвысокого напряжения, электромеханических переходных процессов и анализа устойчивости электроэнергетических систем.

Достоверность и обоснованность результатов работы подтверждаются:

- использованием фундаментальных положений теоретических основ электротехники;
- применением сертифицированных программных средств для расчетов установившихся режимов и устойчивости объединенной электроэнергетической системы.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- предложена методика выбора сечений проводов ЛЭП, основанная на расчетах экономических токовых интервалов, позволяющая учесть изменяющиеся факторы на передачу электроэнергии в условиях Анголы;
- разработана математическая модель электроэнергетической системы с учетом управляемых шунтирующих реакторов для исследования устойчивости ОЭС с использованием современных программных комплексов.

Работа выполнена по заданию Министерства энергетики и водных ресурсов Анголы.

Практическая ценность работы. Результаты работы могут быть использованы в энергетических фирмах Анголы, занимающихся вопросами выбора сечений проводов ЛЭП сверхвысокого напряжения, обеспечения устойчивости ЭЭС и повышения пропускной способности электропередач с установками компенсации реактивной мощности.

Предложения по совершенствованию электроэнергетической системы Анголы будут представлены энергокомпаниям ENE для практической реализации.

Автор защищает:

- результаты анализа энергетической ситуации в республике Ангола;

- схему межсистемной связи напряжением 330 кВ для объединения существующих изолированных электроэнергетических систем республики и экспорта электроэнергии в республики юга Африки;
- методику выбора сечений проводов линии, основанную на расчете токовых интервалов нагрузок и позволяющую учесть влияние на них экономических факторов, действующих в условиях Анголы;
- результаты исследований установившихся режимов ОЭС Анголы при применении на ЛЭП УКРМ;
- математическую модель электроэнергетической системы с учетом управляемых шунтирующих реакторов для исследования устойчивости объединенной электроэнергетической системы.

Личный вклад автора состоит в разработке межсистемной электропередачи сверхвысокого напряжения, предназначенной для объединения изолированных электроэнергетических систем Анголы и экспорта электроэнергии в страны юга Африки, в разработке методики выбора сечений ЛЭП сверхвысокого напряжения, в исследовании режимов и устойчивой работы ОЭС.

Апробация работы.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались:

- на научных семинарах кафедры «Электрические системы» ИГЭУ - 2007 г, 2009 г.;
- на Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, МЭИ, 2007 г.;
- на II молодежной международной научной конференции «Тинчуринские Чтения», Казань, 2007 г.;
- на Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, МЭИ, 2008 г.;
- на III-й молодежной международной научной конференции «Тинчуринские Чтения», Казань, КГЭУ, 2008 г.

Список публикаций. По теме диссертация опубликовано 8 печатных работ, в том числе 2 статьи в изданиях по списку ВАК и 6 тезисов докладов.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, библиографического списка из 108 наименований и 3 приложений. Содержание работы изложено на 162 страницах и содержит 58 рисунков и 36 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, изложены основные результаты, полученные в работе, ее практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит анализ энергетической ситуации в республике Ангола. Приведены краткие сведения об Анголе, информация о состоянии электроэнергетики в республике. Показано, что республика имеет значительные гидроресурсы. По прогнозам только на реке Куанза (Север республики) планируется сооружение одиннадцати ГЭС и в перспективе суммарная мощность станций достигнет 6800 МВт (рис.1).

В настоящее время в республике имеются три изолированных ЭЭС (Севера, Центра и Юга). Общая структура источников электроэнергии в Северной части республики следующая: ГЭС – 82%, ГТУ – 17% и ДЭС – 1%. При существующей электрической нагрузке в 277 МВт избыток мощности составляет 423 МВт. ГЭС не могут выдать всю мощность в ЭЭС Севера из-за ограниченной пропускной способности линий электропередачи напряжением 220 кВ.

В ЭЭС Центра преобладают ГТУ (43%), ГЭС составляют 23% и ДЭС – 34%. Нагрузка этой части республики составляет 81,4 МВт, а суммарная мощность станций – 83,8 МВт. При перспективном росте электрических нагрузок мощности генерации в этой ЭЭС будет недостаточно.

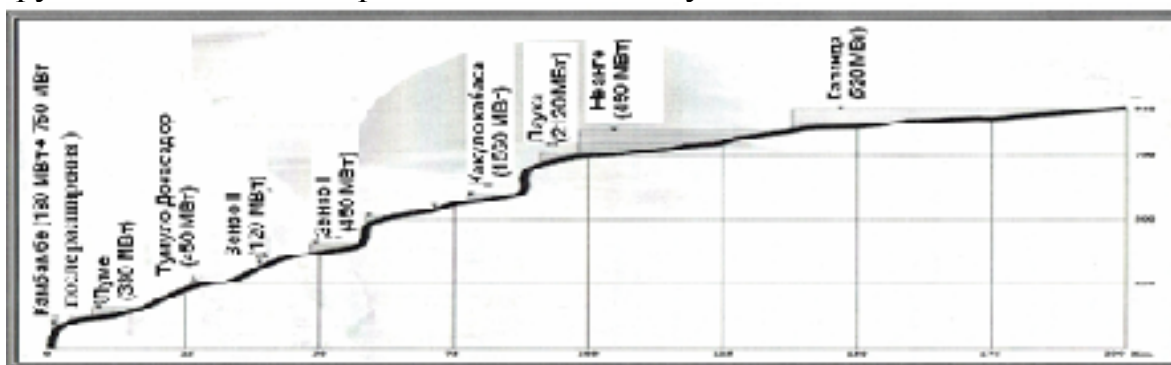


Рис. 1. Каскад ГЭС в перспективе общей мощностью 6800 МВт

В ЭЭС Юга при суммарной электрической нагрузке 48 МВт, установленная мощность источников электроэнергии составляет 50,4 МВт, которой также будет недостаточно при перспективном росте нагрузок. Структура источников электроэнергии следующая: ГЭС – 97% и ДЭС – 3%. Номинальные напряжения сети: 150, 60 и 15 кВ.

При отсутствии межсистемной связи между изолированными ЭЭС Севера, Центра и Юга затраты на транспортировку топлива значительны (рис.2).

В перспективе объединение изолированных электроэнергетических систем Анголы позволит через ЭЭС Юга экспортировать электроэнергию из избыточной северной ЭЭС Анголы в электроэнергетическую систему Намибии.

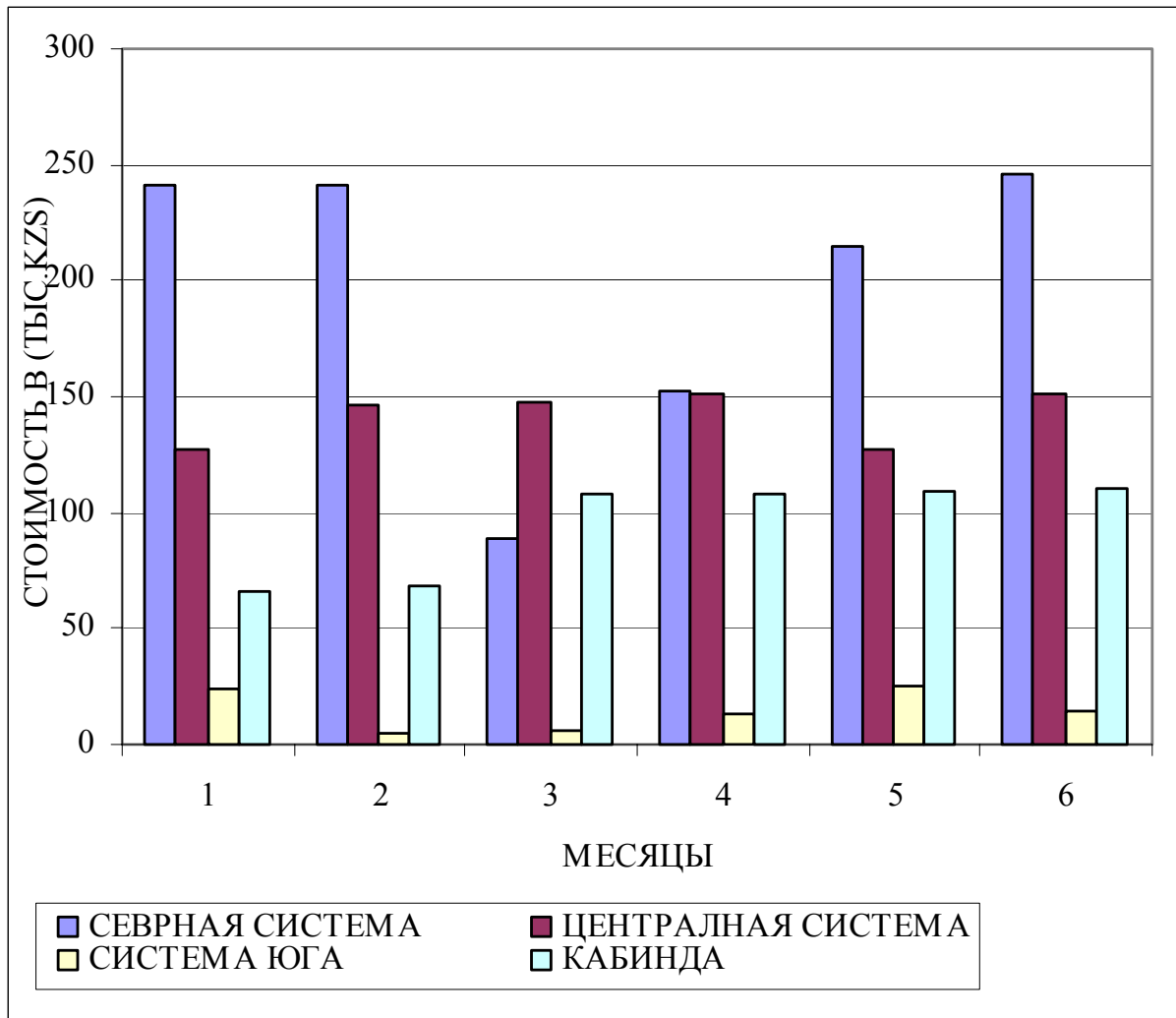


Рис. 2. Затраты на транспортировку топлива по отдельным энергосистемам

Вторая глава разработана схема объединения изолированных ЭЭС Севера, Центра и Юга и ЭЭС Намибии (рис.3) межсистемной линией электропередачи (ЛЭП) протяженностью 850 км.

Использование для ЛЭП напряжения 330 кВ подтверждается его наличием на ГЭС «Руакана», расположенной на территории Анголы и входящей в ЭЭС Намибии.

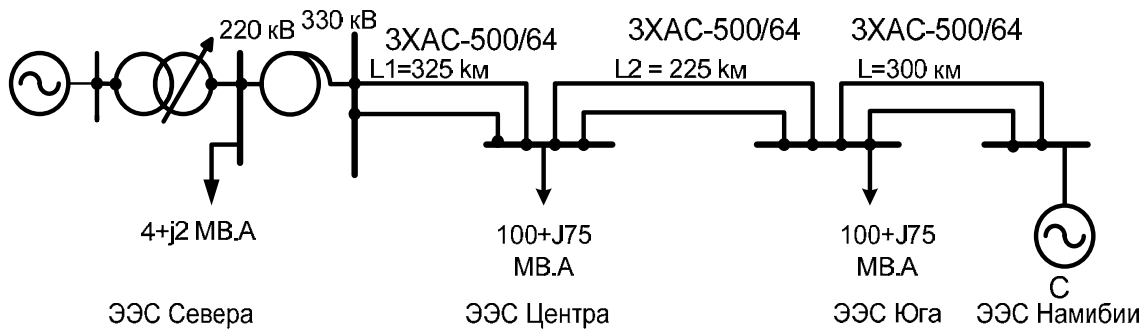


Рис.3. Схема межсистемной связи с ЭЭС Намибии

Конструкция фазы провода предусматривает наличие трех проводов марки АС-500/64 с применением двухцепных опор башенного типа ДП-330-33, которые имеют повышенную механическую прочность и предложены Научно-исследовательским институтом по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения (НИИПТ) и институтом Севзапэнергопроект,

Сечение проводов ЛЭП выбрано по предложенной в работе методике экономических токовых интервалов с использованием дисконтированных затрат и подтверждено технико – экономическими расчетами.

Значение граничного тока определялось из условия равноэкономичности сооружения вариантов ВЛ с сечениями 3 х 400 и 3 х 500 по выражению:

$$I_{400,500} = \sqrt{\frac{[(D_{\text{ЭКВ}} \cdot K_{\text{Деф}})(1 + E)^{-1}(K_{\text{обаз}i+1} - K_{\text{обаз}i})] + \text{Ц}_{\text{Э}} D_{\text{Р.Э}} 8760 \cdot (\Delta P_{\text{кор}0i+1} - \Delta P_{\text{кор}0i})}{3\text{Ц}_{\text{Э}} \cdot D_{\text{Р.Э}} \tau \cdot 10^{-3}(r_{0i} - r_{0i+1})}}, \quad (1)$$

где $D_{\text{Р.Э}} = \sum_{t=\text{Тс}+1}^{\text{Тр}} (1 + E)^{-t}$ расчетный дисконтирующий коэффициент за срок эксплуатации ЛЭП; $E_{\text{Н}} = 14\%$ - норма дисконтирования..;

$D_{\text{ЭКВ}} = 1 + a \cdot D_{\text{Р.Э}} - (1 + E)^{-\text{Тр}}$ – эквивалентный дисконтирующий множитель; $\text{Ц}_{\text{Э}}$ – цена электроэнергии.

Режимные параметры ВЛ 330 кВ на одну цепь в нормальных режимах работы по годам рассматриваемого периода приведены в таблице 1.

Таблица 1

Мощности	Пусковой этап	Расчетный срок	Полное развитие
P, МВт	400	420	440
S, МВ.А	444	467	489
I, А	778	817	855

Ожидаемый расчетный ток в нормальном режиме работы ВЛ на пятый год эксплуатации составил 833 А и определялся по выражению:

$$I_{\text{расч}} = I_{5\text{НБ}} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_t, \quad (5)$$

где α_i - поправочный коэффициент учитывающий изменение тока по годам в первый, пятый и десятый год эксплуатации ВЛ (равен 1,0); α_t – поправочный коэффициент, учитывающий число часов использования максимальной нагрузки ВЛ ($T_{\text{М}} = 5400\text{ч}$) и участие нагрузки ВЛ в максимуме энергосистемы определялся по выражению.;

$$\alpha = \sqrt{0.15 + 0.13 (i_{1*} + 0.3)^2 + 0.55 (i_{10*} + 0.07)^2} = 1,02,$$

где $i_{1*} = \frac{I_{\text{НБ}(1)}}{I_{\text{НБ}(5)}} = 0.95$ - отношение тока в линии на первом году эксплуатации

к току пятого года ; i_{10*} - отношение наибольшего расчетного в линии при полном развитии к току на пятом году эксплуатации принято равным 1.05.

Суммарные дисконтированные затраты по вариантам сооружения и эксплуатации ВЛ в течение расчетного периода $T_p = 10$ определялись по выражению:

$$Z_{\text{д}} = \sum_{t=1}^{T_p} (K_{\text{соор}} + И_{\Sigma t})(1 + E)^{-t} \quad (6)$$

При определении дисконтированных затрат учитывались капитальные вложения в строительство ВЛ, эксплуатационные расходы на текущее обслуживание и на возмещение потерь электроэнергии в сооружаемой ВЛ 330 кВ. Амортизационные отчисления не учитывались.

Результаты технико – экономических расчетов для ВЛ 330 кВ при сечениях проводов 3 x 400 и 3 x 500 приведены в таблице 2.

Таблица 2

Наименование показателей	Сечение проводов на ВЛ 330 кВ	
	3 x 400	3 x 500
Всего капиталовложений по ВЛ, млн.руб.	10328	10863
То же в %	100	105
Расходы на эксплуатацию и обслу – живание (без амортизации) за расчетный период, млн. руб.	82.6	86.9
Затраты на компенсацию потерь мощности в ВЛ 330 кВ за расчетный период, млн. руб.	205.8	180.2
Суммарные дисконтированные затраты за расчетный период (ставка дисконта 14%), млн. руб.	4578.3	4815.7
То же в %	100	105

Из результатов технико-экономических расчетов следует, что разница в суммарных дисконтированных затратах по вариантам составляет 4,93 %, то есть варианты равноценны. Для реализации связи ОЭС Анголы и ЭЭС Намибии приняты сечения 3 x 500 с учетом снижения потерь электроэнергии при этих сечениях на 12,4%.

Проведены исследования оценки влияния экономических факторов (Е- норма дисконта, C_3 – цена электроэнергии) на границы токовых интервалов, которые оказывают влияние на выбор сечения ВЛ в условиях Анголы.

Определены основные параметры ВЛ:

- волновое сопротивление $Z_B = 246.07 \text{ Ом}$,
- волновая длина $\lambda = 0.238 \text{ Рад}$,
- натуральная мощность $P_{\text{нат}} = 885 \text{ МВт}$,
- предельно передаваемая мощность $P_{\text{нб}} = 1300 \text{ МВт}$

Третья глава исследованы установившиеся режимы (УР) электропередачи.

В работе приведены расчетные схемы и результаты расчетов УР при изменении передаваемой по ЛЭП мощности в широком диапазоне. Оценены возможные балансовые и режимные ситуации в сети 330 кВ при вводе новых генерирующих мощностей на Севере республики Ангола и прогнозируемых нагрузках.

Для обеспечения баланса реактивной мощности и допустимых уровней напряжения на ЛЭП доказана необходимость применения установок компенсации реактивной мощности (УКРМ), содержащих управляемые шунтирующие реакторы (УШР) и конденсаторные батареи (КБ) на шинах 330 кВ ГЭС «Капанда» и подстанции «Матала». Мощности УШР и КБ выбирались с учетом расчетов нормальных и послеаварийных установившихся режимов ЛЭП.

Влияние УШР и КБ на распределение напряжения по длине ЛЭП (λ - волновая длина) видно из рис. 4-5. При передаче мощностей меньших натуральной ($P < P_{\text{нб}}$) целесообразно использовать УШР, что видно из рис. 4. При передаче мощностей больших натуральной должны быть включены КБ (рис. 5).

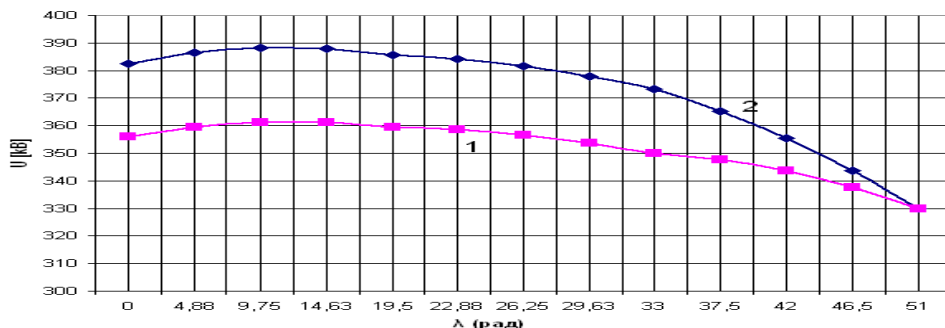


Рис.4. Изменение напряжения по ЛЭП при $P < P_{\text{нб}}$, (1-с УШР; 2 _ без УШР)

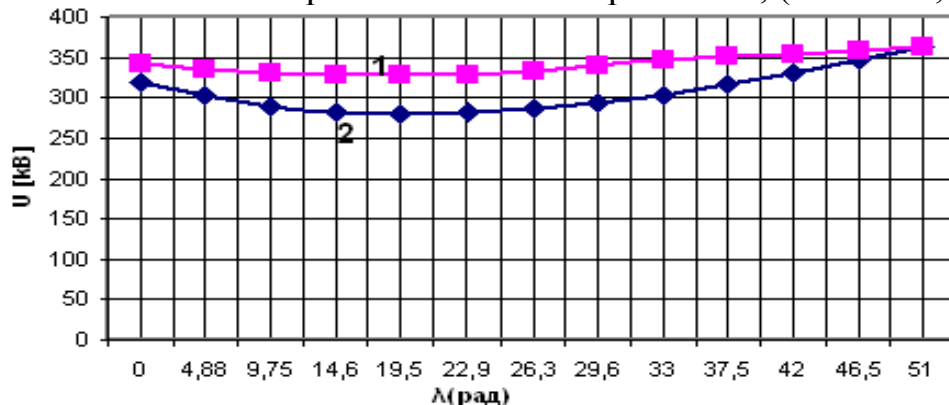


Рис.5. Изменение напряжения по ЛЭП при $P > P_{\text{нб}}$, (1 с КБ; 2- без КБ).

На рис. 6 представлена схема межсистемной ЛЭП на перспективу 2015 года и результаты расчетов нагрузок на отдельных её участках.

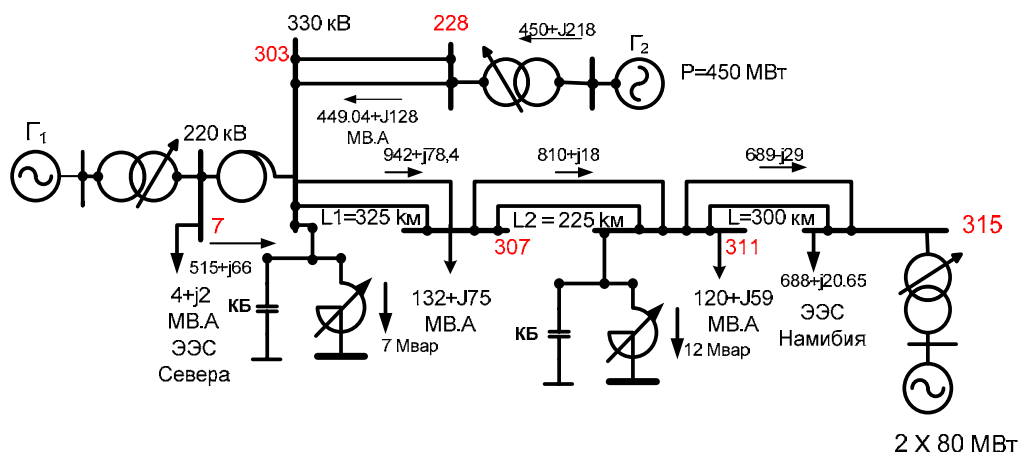


Рис.6. Схема межсистемной связи ЭЭС Анголы с ЭЭС Намибии

В табл. 3-4 приводятся режимные параметры ЛЭП при изменяющихся передаваемых по ней мощностях в ЭЭС Намибии. Из табл. 3 следует, что при передаче натуральной мощности 885 МВт УКРМ должны быть отключены. При передаче мощности 1197 МВт для обеспечения баланса реактивной мощности в ЛЭП и допустимых уровней напряжения на подстанциях Уамбо (ЭЭС Центра), Матала (ЭЭС Юга) и ГЭС Руакана (ЭЭС Намибии) доказана необходимость применения КБ мощностью 180 Мвар на шинах ГЭС Капанда и ГЭС Матала.

Таблица.3. Результаты расчетов режима ЛЭП при $P = P_H$

P МВт	Нагрузки, МВт			U, кВ	U, кВ	U, кВ
	ЭЭС Севера (7)	ЭЭС Центра (307)	ЭЭС Юга (311)	ПС Уамбо (307)	ПС Матала (311)	ПС Руакана (315)
885	4	130	120	347	340	330

Таблица4 Результаты расчета УР с при $P > P_H$

P, МВт	Нагрузки, МВт			U,кВ ПС Уамбо (307)	U,кВ ПС Матал а (311)	U, кВ ПС Рука- на (315)	Q _{БК} , Мвар	
	ЭЭС Севера	ЭЭС Центр а	ЭЭ С Юг а				ПС ГЭС Капа- нда (303)	ПС ГЭС Мат- ала (311)
1197	4	127	105	311	320	330	180	180

В четвертой главе исследованы статическая устойчивость (СУ) и динамическая устойчивость (ДУ) ОЭС Анголы с использованием на ЛЭП установок компенсации реактивной мощности.

Анализ колебательной СУ выполнялся на основе совместного применения систем математического моделирования Dymola и средств Matlab. Первая из них используется для получения исходной нелинейной системы алгебраических дифференциальных уравнений, их численного интегрирования и получения линеаризованных моделей для последующего анализа в программе Matlab (построение частотных характеристик, расчет собственных значений и собственных векторов и т.д.).

Все элементы электропередачи представлены математическими моделями с учетом действия регуляторов возбуждения сильного действия генераторов ГЭС «Капанда» и ГЭС «Нианге» (АРВ СД). Закон регулирования УКРМ представлялся в следующем виде:

$$(1 + pT_{УШР})b_{УШР} = b_{УШР0} + \left(K_{OU} + \frac{K_{IU}p}{1 + pT_{IU}} \right) \Delta U_{УШР},$$

где $b_{УШР}$ и $b_{УШР0}$ - текущая и исходная (в установившемся режиме) проводимость УШР; K_{OU} и K_{IU} - коэффициенты усиления по отклонению напряжения $\Delta U_{УШР}$ и ее производной; T_{IU} - постоянная времени канала по производной напряжения; $T_{СТК}$ - эквивалентная постоянная времени системы регулирования. В результате расчетов получены области D – разбиения для оптимальных настроечных параметров АРВ СД по отклонению частоты (рис 7)

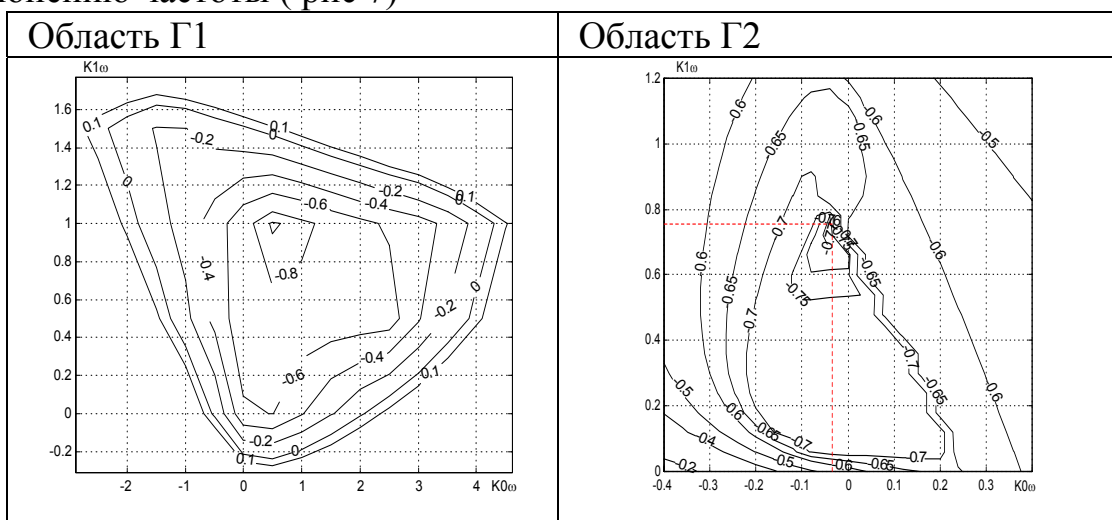


Рис.7. Области D-разбиения для определения оптимальных настроек АРВ генераторов

Для обеспечения колебательной устойчивости ОЭС Анголы были определены оптимальные настроечные параметры АРВ генераторов ГЭС: $K_{0W} = 0.37$ (коэффициент усиления по отклонению частоты.) и $K_{1W} = -1.13$ (коэффициент усиления по первой производной отклонения частоты).

Изменения мощности генераторов ГЭС «Капанда» и ГЭС «Нианге» при полученных оптимальных настройках АРВ СД генераторов представлены на рис. 8-9. Из них видно обеспечение колебательной статической устойчивости ОЭС.

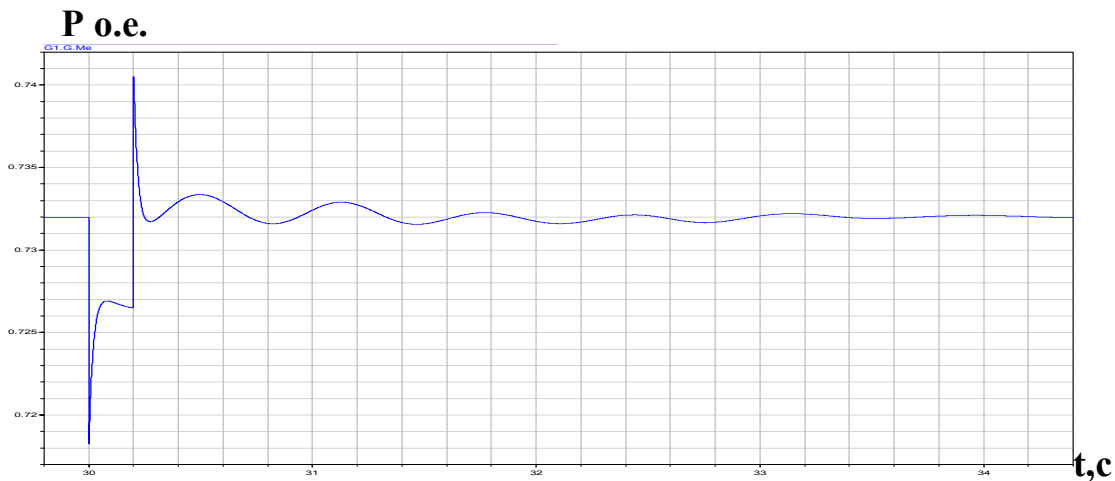


Рис. 8 Изменение электромагнитной мощности генераторов ГЭС Капанда при «малых» возмущениях, без коэффициентов стабилизации

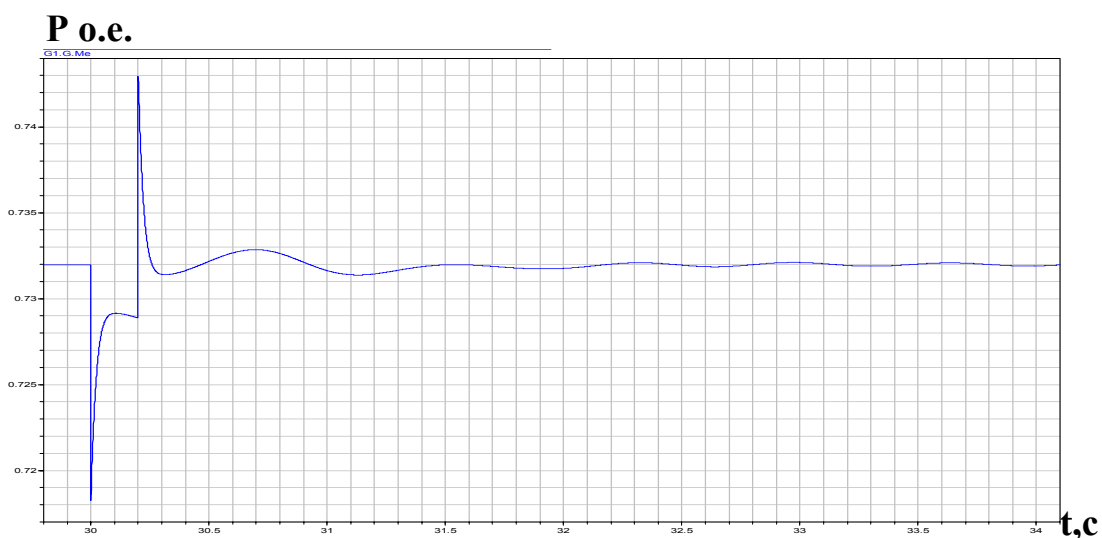


Рис.9. Изменение электромагнитной мощности генераторов ГЭС Нианге при «малых» возмущения при оптимальной настройке АРВ

Исследования динамической устойчивости ОЭС проводились с использованием совместного применения систем математического моделирования Dymola и средств Matlab. В качестве «больших» возмущений при анализе переходных процессов рассматривались короткие замыкания длительностью 0.2 с в различных узлах ОЭС Анголы..

Результаты исследований иллюстрируются зависимостями, приведенными на рис.10-12. На них показаны:

$U(t)$ – изменения напряжений на шинах 220 кВ и 330 кВ ГЭС Капанда (рис. 10, рис. 13);

$P(t)$ – изменения электромагнитной мощности генераторов ГЭС Нианге (рис. 11);

$\delta(t)$ – изменение взаимного угла между положениями роторов генераторов ГЭС Капанда и ГЭС Руакана. (рис. 12).

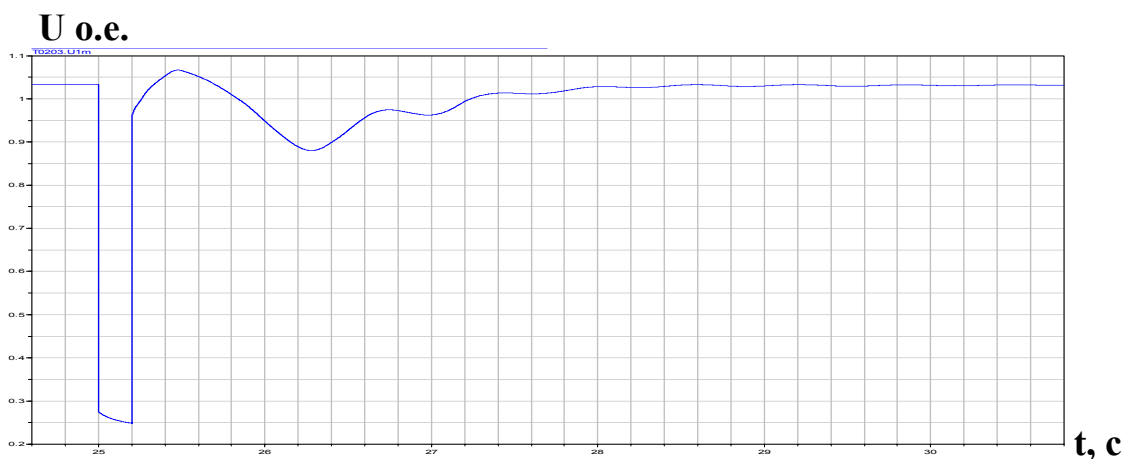


Рис.10.Изменение напряжения на шинах 220 кВ ГЭС Капанда при двухфазном КЗ на землю

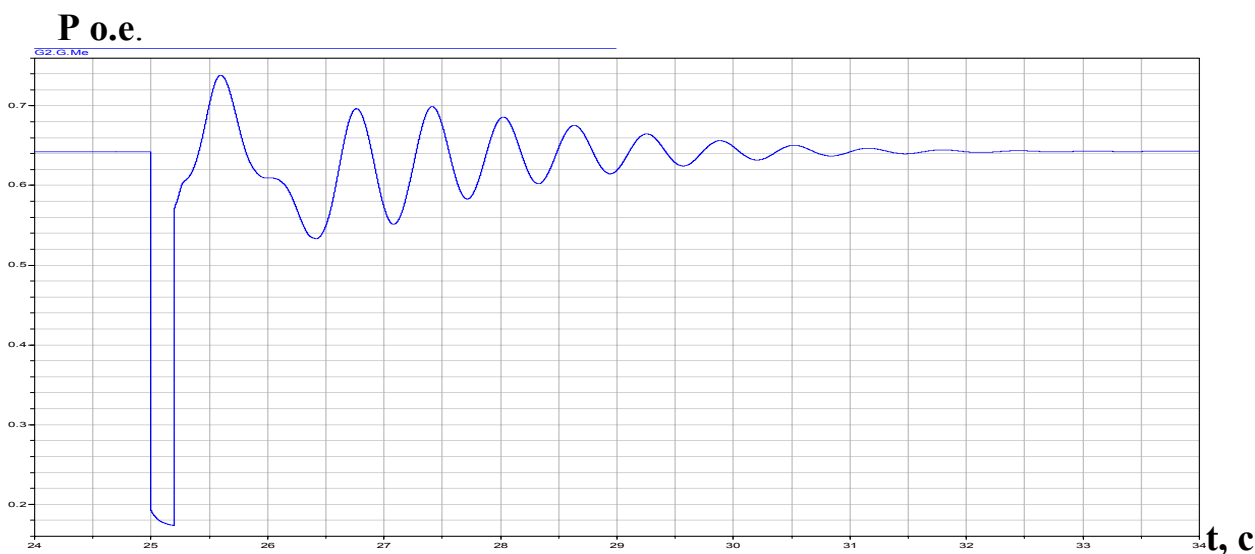


Рис. 11. Изменение электромагнитной мощности генераторов ГЭС Нианге при двухфазном КЗ на шинах 33 кВ ГЭС Капанда

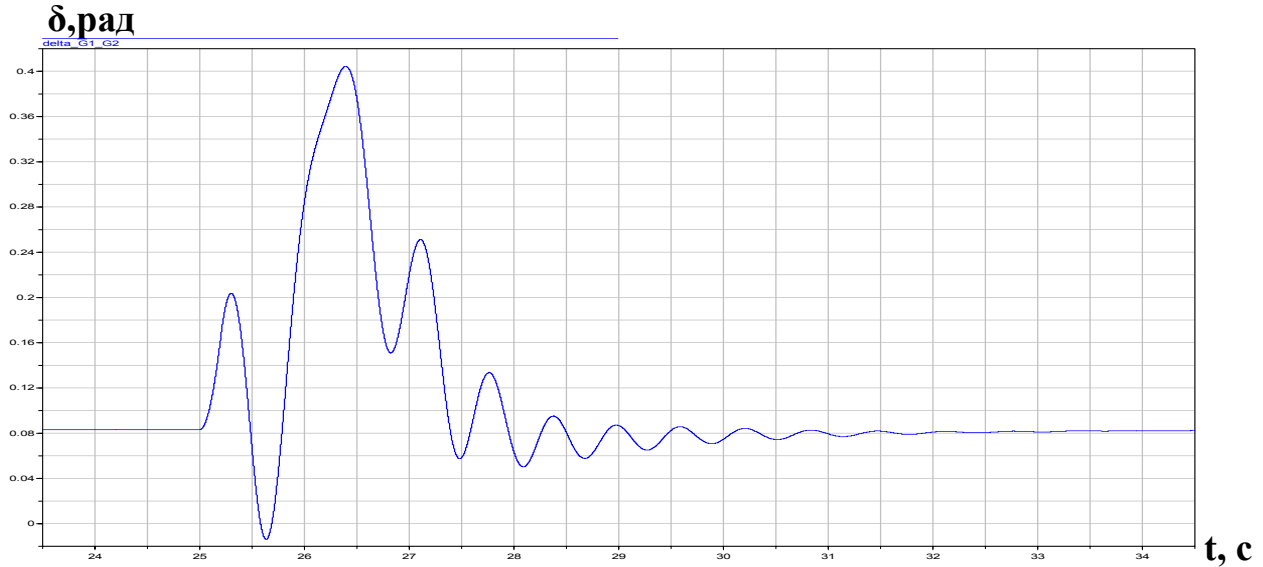


Рис. 12 .Изменение взаимного угла положения между роторами генераторов ГЭС Капанда и ГЭС Руакана (Намибия) при двухфазном КЗ на шинах 330 кВ ГЭС Нианге

Исследования на моделях показали, что изменения выше указанных параметров не приведут к нарушению динамической устойчивости ОЭС.

Влияние управляемых шунтирующих реакторов (УШР) на переходные процессы при КЗ представлены зависимостями $U(t)$ и $\delta(t)$ (рис.13, 15). Из них видно, что при установке УШР амплитуды колебаний напряжений и взаимных углов положений роторов генераторов ГЭС снижены, а скорости затухания переходного процесса увеличены.

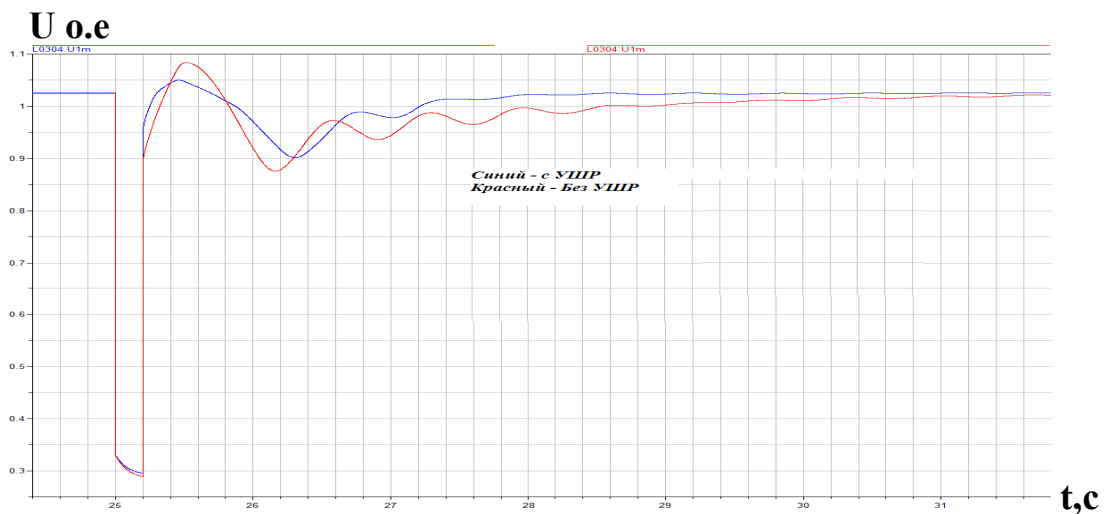


Рис.13.Изменения напряжения на шинах 330 кВ ГЭС Капанда

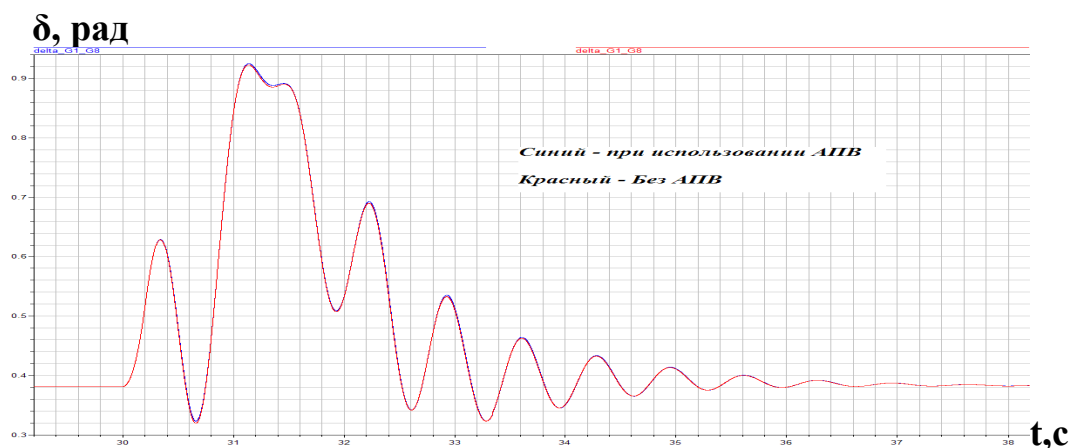


Рис. 14. Изменения взаимных углов положений роторов генераторов ГЭС Капанда и ГЭС Руакана (Намибия) с учетом АПВ

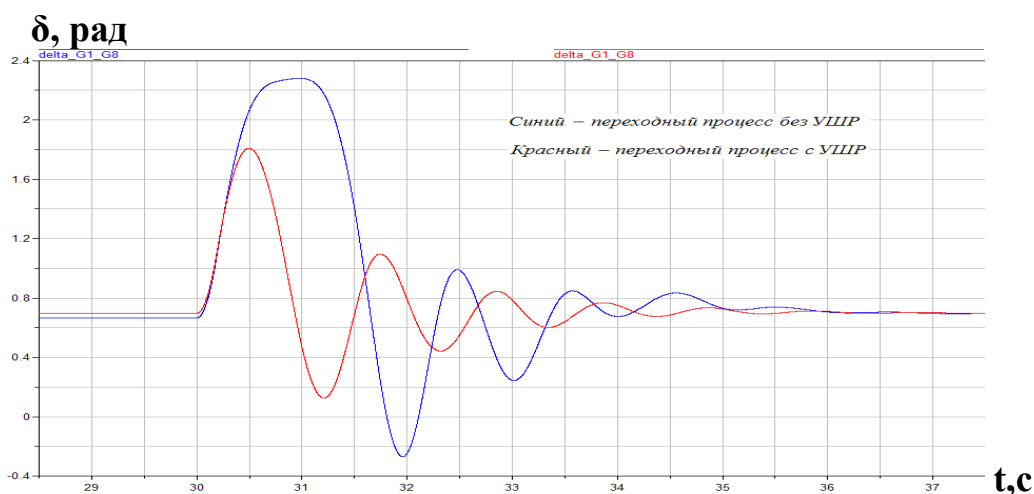


Рис. 15 Изменения взаимных углов положений роторов генераторов ГЭС Капанда и ГЭС Руакана (Намибия) при КЗ на шинах 330 кВ ГЭС Капанда

Установлено, что АПВ на переходные процессы в исследуемой схеме с УШР при различных КЗ не оказывает значительного влияния на устойчивую работу электропередачи (рис.14).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Показано, что в настоящее время в Анголе назрела необходимость формирования Единой электроэнергетической системы и ее связи с электроэнергетическими системами юга Африки. Это обусловлено:

- разделением электрической сети республики на три изолированные энергосистемы («Север», «Центр» и «Юг») и неравномерностью расположения потребителей электроэнергии по этим энергосистемам;

- сосредоточением значительных гидроресурсов на севере республики. В настоящее время это крупнейшие ГЭС: «Капанда» с установленной мощностью 520 МВт и ГЭС «Камбамбе» - 180 МВт. В перспективе установленная мощность всех ГЭС возрастет до 6800 МВт;

- возможностью востребовать для страны в настоящее время только 65 % от имеющихся мощностей гидроресурсов, в перспективе- %.

Межсистемная связь между изолированными энергосистемами позволит стабилизировать режимы работы электроэнергетической системы Анголы обеспечит надежное электроснабжение потребителей и устранит существующую диспропорцию в электроснабжении отдельных районов республики, а также позволит осуществлять передачу мощности с севера страны на юг Африки через электроэнергетическую систему Намибии.

2. Исследованы и выбраны наиболее целесообразные параметры межсистемной связи: напряжение 330 кВ, ЛЭП выполнена проводами 3 х АС – 500/64, протяженность 850 км, пропускная способность 1300 МВт.

3. Предложена методика выбора сечений проводов ЛЭП для Анголы, основанная на расчетах экономических токовых интервалов, позволяющая учесть изменения различных параметров (тарифы на передачу электроэнергии и норма дисконта) на дисконтированные затраты.

4. Исследованы установившиеся режимы межсистемной электропередачи при изменении передаваемой по ней мощности в широком диапазоне. Получено значение предельно передаваемой мощности в электроэнергетическую систему Намибии, которое составило 1200 МВт.

5. Доказана необходимость установки на линии установок компенсации реактивной мощности (УКРМ), содержащих управляемые шунтирующие реакторы (УШР) и конденсаторные батареи (КБ). Выбраны мощности и места установки УКРМ на линии.

6. Проведена оценка влияния УШР на параметры режима электропередачи. Получено значение пропускной способности линии с установкой на ней УШР, которое составило 1300 МВт.

7. Разработана математическая модель электроэнергетической системы с учетом управляемых шунтирующих реакторов для исследования устойчивости ОЭС с использованием современных программных средств.

8. Исследованы вопросы сохранения статической устойчивости электропередачи с учетом регуляторов сильного действия генераторов ГЭС Анголы и ГЭС Намибии. Получены области D- разбиения для определения оптимальных настроек автоматического регулирования возбуждения генераторов.

9. Исследованы вопросы обеспечения динамической устойчивости электропередачи с использованием системы математического моделирования Dymola и средств Matlab. Проведена оценка влияния УШР и автоматического повторного включения на переходные процессы в исследуемой схеме электропередачи. Выявлено, что установка УШР на шинах 330 кВ ГЭС

Капанда суммарной мощностью 180 Мвар и на шинах 330 кВ ГЭС Матала с $Q_{ушр} = 180$ Мвар позволяет :

- снизить амплитуды колебаний напряжения на шинах ГЭС при возмущениях в системе;
- увеличить скорость затухания переходного процесса при коротких замыканиях в схеме электропередачи.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи, опубликованные в изданиях по списку ВАК:

1. Бушуева О. А. Повышение пропускной способности линий электропередач объединенной энергосистемы республики Анголы / Бушуева О. А. **Казими́ро** Фаустино // Вестник ИГЭУ / Ивановский государственный энергетический университет. – 2005. – Вып. 5. – С. 79 – 81
2. Бушуева О. А. Исследование динамической устойчивости в сети 330 кВ / Бушуева О. А. **Казими́ро** Фаустино // Вестник ИГЭУ / Ивановский государственный энергетический университет. – 2005. – Вып. 6. – С. 70 – 71

Публикации в других изданиях

3. Бушуева О. А. Состояние электроэнергетики республики Ангола и перспективы ее развития/ О. А. Бушуева, **Казими́ро** Фаустино // Тезисы докладов тринадцатая международная научно – техническая конференция студентов и аспирантов “Радиоэлектроника, электроника и энергетика” Московский Энергетический Институт (Технический университет), 1 – 2 марта: [в 3 т.]; Министерство образования Российской Федерации, Академия электротехнических наук, Ассоциация международных отделов технических университетов, Институт инженеров по электротехнике и электронике США (IEEE) – Москва ..- 2007. – Т 3. – С.275-276
4. Бушуева О. А. Повышение пропускной способности линий электропередачи в объединенной энергосистеме республики Ангола/ О. А. Бушуева, **Казими́ро** Фаустино // Тезисы докладов четырнадцатая международная научно – техническая конференция студентов и аспирантов “Радиоэлектроника, электроника и энергетика” Московский Энергетический Институт (Технический университет), 28 – 29 марта: [в 3 т.]; Министерство образования Российской Федерации, Академия электротехнических наук, Ассоциация международных отделов технических университетов, Институт инженеров по электротехнике и электронике США (IEEE) – Москва ..- 2008. – Т 3. – С.251-252
5. Бушуева О. А. Развитие электроэнергетики республики Анголы / О. А. Бушуева, **Казими́ро** Фаустино // Тезисы докладов II Молодежной международной научной конференции “Тинчуринские чтения ”, 26-27

апреля; Министерство Образования и науки российской федерации, Федеральное Агентство по Образованию, Академия Наук Республики Татарстан, Министерство Образования Республики Татарстан, Казанский государственный энергетический университет – Казан..- 2007. – Т.1

6. Бушуева О. А. Исследование устойчивой работы линии электропередачи 330 кВ ОЭС Анголы/ О. А. Бушуева, **Казими́ро Фаусти́но** // Тезисы докладов III Молодежной международной научной конференции “Тинчуринские чтения”, 24 - 25 апреля; Министерство Образования и науки российской федерации, Федеральное Агентство по Образованию, Академия Наук Республики Татарстан, Министерство Образования Республики Татарстан, Казанский государственный энергетический университет – Казань.- 2008. – Т.1

7. Бушуева О. А. Мероприятия по повышению устойчивости электропередачи республики Ангола/ О. А. Бушуева, Казими́ро Фаусти́ну // Тезисы докладов Региональная научно-техническая конференция студентов и аспирантов “Энергия 2008” 17- 26 апреля. [в 3 т] Министерство Образования и науки российской федерации, Ивановский Государственный Энергетический Университет Имени В. И. Ленина – Иванова. – 2008. – Т. III С. 23 – 24/

8. Бушуева О. А. Применение управляемого шунтирующего реактора на линии электропередачи 330 кВ в республике Ангола/ О. А. Бушуева, **Казими́ро Фаусти́ну** // Тезисы докладов Региональная научно-техническая конференция студентов и аспирантов “XV Бенардосовские чтения”, 27- 29 апреля. [в 1 т.] Министерство Образования и науки российской федерации, Ивановский Государственный Энергетический Университет Имени В. И. Ленина – Иванова. – 2009. – Т. I С. 31 – 32/

