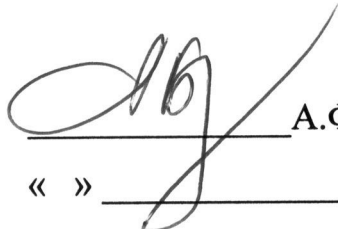


**Российское акционерное общество энергетики и электрификации  
«ЕЭС России»**

**СОГЛАСОВАНО:**

Директор по управлению  
режимами ЕЭС-главный диспетчер  
ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС»

  
\_\_\_\_\_ А.Ф.Бондаренко  
« » \_\_\_\_\_ 2004 г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый заместитель начальника  
Департамента научно-технической  
политики и развития  
РАО «ЕЭС России»

  
\_\_\_\_\_ А.В.Бобылев  
\_\_\_\_\_ 2004 г.



Заместитель Генерального  
директора по научной работе  
ОАО «Институт  
ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ

  
\_\_\_\_\_ Н.Л.Новиков  
\_\_\_\_\_ 2004 г.



Научный руководитель  
ОАО «НИИПТ»

  
\_\_\_\_\_ Л.А.Кощев  
« 17 » июня 2004 года

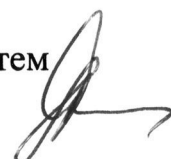


**ПРОГРАММА  
КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМНЫХ ИСПЫТАНИЙ  
МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ  
РЕГУЛЯТОРОВ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ  
ГЕНЕРАТОРОВ  
(ТИПОВАЯ).**

Зав. отделом электроэнергетических систем  
ОАО «НИИПТ»

 А.С.Зеккель

Руководитель работы,  
зам.зав отделом электроэнергетических систем  
ОАО «НИИПТ»

 А.Х.Есипович

Санкт-Петербург, 2004г.

## Лист согласований.

Согласовано:

От ОАО РАО «ЕЭС России»:

Главный специалист  
Департамента НТП и Р

П.А.Шейко

« » \_\_\_\_\_ 2004 г.

От ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС»

Начальник службы  
электрических режимов

А.В.Левандовский

« » \_\_\_\_\_ 2004г.

От ОАО «Институт ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

Зав. НИЛ УРЭС

З.Г.Хвоцинская

« » \_\_\_\_\_ 2004г.

Программа разработана в отделе электроэнергетических систем ОАО  
«НИИПТ»

## **Введение.**

Согласно Приказу РАО «ЕЭС России» №229 от 16.11.98 г. «О подтверждении соответствия приобретаемого энергетического оборудования требованиям РАО «ЕЭС России» «в целях обеспечения надежной, экономичной и безаварийной работы энергообъектов и оказания им помощи в процессе выбора и приобретения оборудования, как отечественного, так и импортного, при осуществлении нового строительства, модернизации и техническом перевооружении», приобретать новое оборудование можно только после проведения соответствующей экспертизы. Для условий ЕЭС России, которая представляет собой уникальное по протяженности системообразующей сети объединение отдельных энергосистем слабыми и, как правило, сильно загруженными межсистемными связями, в целях обеспечения системной надежности экспертизу микропроцессорных автоматических регуляторов возбуждения следует проводить путем комплексных испытаний натуральных образцов регуляторов на электродинамической модели (ЭДМ) энергосистемы в схеме, правильно отображающей многочастотное движение в различных схемно-режимных и аварийных ситуациях.

Настоящая программа испытаний предназначена для комплексной проверки опытно-промышленных и промышленных образцов микропроцессорных автоматических регуляторов возбуждения синхронных генераторов на соответствие требованиям ЕЭС России по устойчивости параллельной работы и надежности электроснабжения.

При разработке программы использованы следующие материалы:

- «Руководящие указания по устойчивости энергосистем», М., РАО «ЕЭС России», 1994. РД 34.20.576-94.
- «Методические указания по устойчивости энергосистем», М., Минэнерго России, 2003.
- «Методические указания по расчетам устойчивости по самораскачиванию», М.-СПб., ОАО «НИИПТ», 1993.
- «Научно-технические рекомендации по использованию АРВ-М», ОАО «НИИПТ» – РАО «ЕЭС России», С.-Пб., 2002.
- «Испытания, наладка и предварительная настройка натуральных регуляторов возбуждения генераторов Усть-Илимской ГЭС на электродинамической модели». Отчет ОАО «НИИПТ», С.-Пб., 2004. Инв. №О-7576.
- «Проведение испытаний микропроцессорного регулятора возбуждения турбогенератора ТЗФА-110 на электродинамической модели НИИПТ и разработка научно-технических рекомендаций по его использованию для регулирования возбуждения асинхронизированных синхронных машин в ОАО Мосэнерго», Отчет по НИР ОАО «НИИПТ», С.-Пб., 2003. Инв. №О-7553.

## **1. Общая часть**

### **1.1. Основные цели и задачи.**

Основными целями испытаний опытно-промышленных и промышленных образцов микропроцессорных регуляторов возбуждения в тестовой схеме ЭДМ являются:

- разработка научно-технических рекомендаций, определяющих область применения регуляторов в составе систем возбуждения генераторов при осуществлении нового строительства, модернизации и техническом перевооружении электростанций РАО «ЕЭС России»;
- подготовка экспертного заключения о соответствии микропроцессорных регуляторов системным требованиям ЕЭС России.

В соответствии с указанными целями в задачу испытаний входят следующие основные проверки микропроцессорных регуляторов по:

- обеспечению требований нормативов статической устойчивости и высокого качества демпфирования электромеханических колебаний в нормальных, ремонтных и послеаварийных режимах;
- обеспечению высокого качества демпфирования больших послеаварийных колебаний при нормативных аварийных возмущениях в энергосистеме;
- полному использованию расчетных возможностей силовой части систем возбуждения по обеспечению динамической устойчивости;
- обеспечению устойчивой параллельной работы с регуляторами других типов в условиях многоагрегатной электрической станции;
- правильности работы ограничителей при динамических возмущениях;
- обеспечению устойчивого регулирования реактивной мощности и высокого качества стабилизации режима при совместной работе двух регуляторов в составе укрупненного блока генераторов.

### **1.2. Тестовые схемы энергосистемы.**

Тестовая схема энергосистемы для проведения испытаний представлена на рисунке 1. Схема включает 6 генераторов со своими блочными трансформаторами, 5 узлов комплексной нагрузки, автотрансформатор связи и 9 линий электропередачи. Генераторы 1÷3 представляют собой модель тепловой электрической станции (ТЭС), оснащенной тремя одинаковыми блоками, работающими на две системы шин разного напряжения. Два генератора станции подключено к шинам 500 кВ, а один – к шинам 220 кВ. Генератор 3 в основном питает местную нагрузку, а генераторы 1 и 2 выдают мощность в энергосистему. Генераторы 4 и 5 представляют собой модели АЭС и ГЭС, а генератор 6 – эквивалент концентрированной энергосистемы. К шинам узла 5 вместо генератора 6

через регулируемый трансформатор могут подключаться шины бесконечно большой мощности (шины Ленэнерго). Для проверки регуляторов при работе в схеме укрупненного блока предусмотрена трансформация схемы к виду, приведенному на рис. 2. Установленные мощности станций приведены в

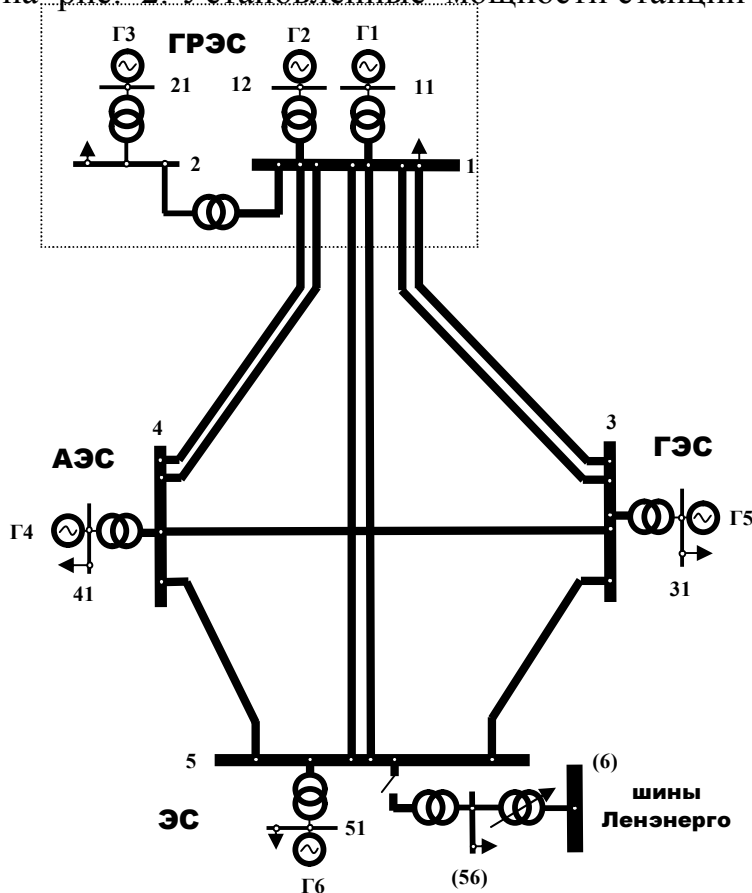


Рис. 1. Тестовая схема электродинамической модели энергосистемы.

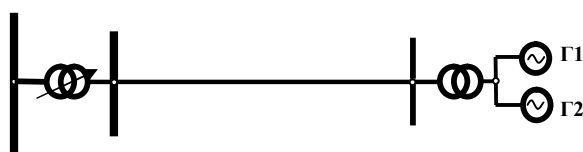


Рис. 2. Схема укрупненного блока.

Приложении.

Генераторы 1 и 2 оснащены моделями быстродействующих тиристорных систем возбуждения и полупроводниковых регуляторов типа АРВ-СД. При испытаниях один или оба этих регулятора заменяются испытуемыми микропроцессорными АРВ. Для остальных регуляторов модели приняты электромашинные системы возбуждения с регуляторами пропорционального типа.

Пропускные способности двухцепных линий электропередачи, отходящих от шин 500 кВ ГРЭС, соотносятся как 1:2:4. С изменением состава сети (отключением линий) схема энергосистемы претерпевает

всевозможные трансформации от полного многоугольника до различных вариантов схем цепочечной структуры. При этом пропускная способность сети по отношению к установленной мощности ГРЭС изменяется от 2.5 до 0.4 о.е. Это позволяет выполнять проверку регуляторов при расчетных и предельных динамических возмущениях, в том числе и с учетом действия систем противоаварийной автоматики, когда для обеспечения динамической устойчивости при отключении поврежденных линий требуется ввод управляющих воздействий (отключение генераторов и нагрузки). Изменение структуры сети позволяет изменять внешнее по отношению к шинам 500 кВ ГРЭС реактивное сопротивление ( $X_{вн}$ ) от 0.14 до 1.84 о.е. Мощность комплексной нагрузки, подключенной к шинам ГРЭС и шинам эквивалентных генераторов 4÷6, может изменяться от 0 до установленной мощности соответствующей станции и обеспечивает изменение электрических режимов в энергосистеме вплоть до изменения направления потоков активной мощности по линиям и сечениям, что позволяет провести испытания регулятора при работе генератора как в отправной, так и в приемной (дефицитной) части энергосистемы. Доля асинхронных двигателей в узлах комплексной нагрузки составляет 60%. Параметры линий электропередачи, трансформаторов и генераторов схемы приведены в Приложении.

### **1.3. Виды аварийных возмущений.**

В процессе испытаний рассматривается два вида аварийных возмущений – тестовые и нормативные (расчетные).

К тестовым аварийным возмущениям относятся:

- ступенчатое изменение уставки по напряжению регулятора возбуждения;
- проходящее короткое замыкание (длительностью 0.04 с) на шинах станции;
- ступенчатое изменение напряжения на шинах станции.

К нормативным (расчетным) аварийным возмущениям относятся все аварии, поименованные в «Руководящих указаниях по устойчивости энергосистем».

Тестовые возмущения используются для настройки каналов стабилизации микропроцессорных регуляторов, проверки работы их ограничителей и проверки отсутствия внутригруппового движения как при работе двух генераторов в составе укрупненного блока на общие генераторные шины, так и в условиях многоагрегатной станции; нормативные – для проверки правильности работы систем возбуждения при ликвидации больших аварийных возмущений и эффективности настройки каналов стабилизации при демпфировании послеаварийных колебаний, в том числе с учетом действия систем противоаварийной автоматики.

#### **1.4. Воспроизведение аварийных возмущений и действия систем противоаварийной автоматики.**

Воспроизведение тестовых и расчетных аварийных возмущений, а также действия комплексов противоаварийной автоматики выполняется от программирующего устройства физической модели с точностью задания времени реализации требуемой программы не менее 0.01с.

#### **1.5. Регистрация.**

Регистрация экспериментов и их последующая обработка осуществляется при помощи системы цифрового осциллографирования физической модели. Система обеспечивает одновременность записи входных сигналов по всем 32 каналам и их гальваническую развязку от ПЭВМ и друг от друга, задание нужного периода опроса входных сигналов, их просмотр и дальнейшую обработку с помощью ПЭВМ. Система цифрового осциллографирования включает в себя устройство ввода, ПЭВМ с установленной в ней платой ЦАП-АЦП и специальное математическое обеспечение.

### **2. Программа испытаний.**

#### **2.1. Обеспечение статической колебательной устойчивости и стабилизации нормальных, ремонтных и послеаварийных режимов.**

##### ***2.1.1. Определение областей статической колебательной устойчивости и выбор базовой настройки коэффициентов усиления каналов стабилизации (системного стабилизатора).***

Построение границ областей колебательной устойчивости в пределах реального диапазона изменения коэффициентов усиления каналов стабилизации (системного стабилизатора) испытуемого регулятора возбуждения производится экспериментальным путем для группы характерных схем и режимов работы станции<sup>1</sup>, определяющих общую часть области устойчивости. Цель - выбор базовой настройки регулятора.

##### ***2.1.2. Оценка качества демпфирования при выбранной настройке для различных режимов работы генератора и станции при тестовых возмущениях.***

---

<sup>1</sup> Группа характерных схем и режимов, определяющих границы общей части области устойчивости, получена путем выполнения расчетов в цифровой модели тестовой схемы энергосистемы.



Выполняется в процессе испытаний во всех ремонтных и послеаварийных режимах для определения возможности работы генератора с единой настройкой.

### ***2.1.3. Определение характера нарушения устойчивости в предельных по условиям статической устойчивости электрических режимах при выбранных настройках регулятора.***

Выполняется в ослабленной схеме энергосистемы при выдаче мощности по каждому из трех направлений путем медленного увеличения перетока вплоть до нарушения устойчивости.

## **2.2. Проверка отсутствия внутригрупповой неустойчивости**

### ***2.2.1. При совместной работе регуляторов разных типов***

### ***2.2.2. При работе однотипных регуляторов***

Выполняется путем оценки качества демпфирования при подаче тестовых импульсов как со стороны энергосистемы, так и со стороны одного из АРВ генераторов 1 и 2 для двух случаев – при работе двух испытуемых АРВ и при совместной работе с моделью АРВ-СД при разных нагрузках генераторов.

## **2.3. Обеспечение динамической устойчивости при расчетных аварийных возмущениях в энергосистеме.**

Перед выполнением проверок при больших аварийных возмущениях в энергосистеме выполняется проверка и настройка релейной форсировки (РФ) – выбор уставок срабатывания и снятия РФ и времени задержки на снятие форсировки.

### ***2.3.1. Аварии типа N-1.***

#### ***2.3.1.1. Отключение элемента сети без изменения частоты энергосистемы:***

- отключения отходящих линий;
- однофазные короткие замыкания на отходящих линиях с их отключением<sup>2</sup>;
- двухфазные на землю короткие замыкания на отходящих линиях с их отключением;
- трехфазные короткие замыкания на отходящих линиях с их отключением;

---

<sup>2</sup> Все короткие замыкания выполняются на обоих концах линии.

- успешные ОАПВ линий;
- успешные ТАПВ линий<sup>3</sup>

#### **2.3.2.1. Отключение элемента сети с изменением частоты энергосистемы:**

- отключение нагрузки в приемной части энергосистемы (избыток мощности);
- отключение генератора в приемной части системы (дефицит мощности).

#### **2.3.2. Аварии типа N-2:**

- однофазные короткие замыкания на отходящих линиях с неуспешным ОАПВ;
- двухфазные на землю короткие замыкания на отходящих линиях с неуспешным ТАПВ;
- трехфазные короткие замыкания на отходящих линиях с неуспешным ТАПВ;
- короткие замыкания с отключением двухцепных линий (двух линий, расположенных в общем коридоре);
- двухфазные на землю короткие замыкания на отходящих линиях при отказе фазы выключателя и работе УРОВ.

#### **2.4. Обеспечение динамической устойчивости при предельных динамических возмущениях в энергосистеме.**

Проверка использования расчетных возможностей силовой части систем возбуждения по обеспечению динамической устойчивости выполняется при предельных динамических возмущениях из числа расчетных. При этом рассматривается поведение АРВ при предельно устойчивых и неустойчивых динамических переходах<sup>4</sup>.

#### **2.5. Обеспечение правильности и эффективности работы регулятора с учетом действия системы противоаварийной автоматики.**

Выполняется для нескольких расчетных возмущений, вызванных отключением отходящих линий электропередачи в результате коротких замыканий для случаев, требующих разгрузки станции по условиям обеспечения нормативного запаса устойчивости в послеаварийном режиме. Управляющими воздействиями противоаварийной автоматики являются: отключение одного генератора станции (генератор 2) и отключение части

<sup>3</sup> Длительности короткого замыкания и пауз ТАПВ и ОАПВ выбираются согласно «Руководящим указаниям...» и варьируются с учетом времен срабатывания современных выключателей.

<sup>4</sup> Неустойчивый динамический переход достигается путем утяжеления исходного режима.

нагрузки в приемной энергосистеме. Запаздывание на ввод управляющих воздействий принято равным 0.4 с. с момента возникновения аварии.

## **2.6. Проверка работы основных ограничителей.**

- 2.6.1. Проверка ограничителя перегрузки по току ротора и статора.*
- 2.6.2. Проверка ограничителя двукратного тока ротора.*
- 2.6.3. Настройка и проверка ограничителя минимального возбуждения.*

**2.7. Обеспечение устойчивого регулирования реактивной мощности и стабилизации режима при совместной работе двух регуляторов в составе укрупненного блока генераторов (схема рис. 2).**

- 2.7.1. Выбор точки регулирования напряжения (настройка блока компенсации реактивного сопротивления трансформатора).*
- 2.7.2. Проверка отсутствия внутригрупповой неустойчивости (при тестовых аварийных возмущениях).*
- 2.7.3. Проверка устойчивости работы блока при отключении одного генератора.*

**ПРИЛОЖЕНИЕ.****Таблица 1****Параметры модельных генераторов и трансформаторов тестовой схемы.**

№ узла схемы	Pном	реактивности						Tдо, с	Tj, с	Хтр.	
		Xd		Xd'		Xd''				Ом	о.е.
	МВт	Ом*	о.е.	Ом	о.е.	Ом	о.е.				
11	2000	210	1.68	37.5	0.3	22.5	0.18	7	7	16.3	0.13
12	2000	210	1.68	37.5	0.3	22.5	0.18	7	7	16.3	0.13
21	2000	210	1.68	37.5	0.3	22.5	0.18	7	7	16.3	0.13
31	2000	134	1.07	18.8	0.15	7.5	0.06	7	9	16.3	0.13
41	7200	36.8	1.06	5.9	0.17	2.99	0.086	7	10	4.0	0.13
51**	100000	24.5	9.8	4.95	1.98	0.5	0.21	7	8	3.5	1.4

\*Величины реактивностей в омах приведены к напряжению 500кВ.

\*\*В реактивность трансформатора узла 51 включена реактивность примыкания эквивалентного генератора к шинам 500 кВ.

**Таблица 2****Параметры линий тестовой схемы.**

№ п.п.	№№ узлов примыкания	X1	Xo
		Ом	Ом
1	1-3 (1 цепь)	100	90
2	1-3 (2 цепь)	100	90
3	1-4 (1 цепь)	25	22.5
4	1-4 (2 цепь)	25	22.5
5	1-5 (1 цепь)	50	45
6	1-5 (2 цепь)	50	45
7	3-4	50	45
8	3-5	50	45
9	4-5	50	45