

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тиристорные системы возбуждения гидрогенераторов. Модернизация существующих систем и комплексные испытания при вводе в эксплуатацию

13.04.02.06. Гидроэлектростанции
13.04.02. Электроэнергетика и электротехника

Научный руководитель	_____	<u>Инженер участка ТАиВ</u> <u>СРЗАиМ филиала ПАО</u> <u>«РусГидро»- «Саяно-</u> <u>Шушенская ГЭС имени П.С.</u> <u>Непорожного»</u> должность	<u>Е.А. Хлыстов</u> инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>А.А. Рябченко</u> инициалы, фамилия
Рецензент	_____	<u>Начальник смены станции</u> <u>Оперативной службы</u> <u>филиала ПАО «РусГидро»-</u> <u>«Саратовская ГЭС»</u> должность	<u>В.В.Гринимаев</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролёр	_____		<u>А.А. Чабанова</u> инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2019

АННОТАЦИЯ

Ключевые фразы: опыт эксплуатации, технические требования, система возбуждения, тиристор, мощность, модернизация, эксплуатация, регулирование, форсирование, диагностика, комплексные испытания, программное обеспечение, надежность.

Объект работы: филиал ПАО «РусГидро»-«Саратовская ГЭС».

Цель работы: Модернизации тиристорной системы возбуждения гидрогенераторов Саратовской ГЭС. Приведение альтернатив заменяемого оборудования и опыта эксплуатации подобных систем на других ГЭС.

АВТОРЕФЕРАТ

Практически все существующие ГЭС построены ещё в СССР и большая часть оборудования уже отработала свой паспортный срок службы. На данный момент назрела необходимость замены основного и вспомогательного оборудования многих ГЭС.

Активное техническое перевооружение Саратовской ГЭС началось с 2009 года. Меняется основное и вспомогательное оборудование. Реализация Программы комплексной модернизации (ПКМ) Саратовской ГЭС позволит повысить надежность и безопасность эксплуатации оборудования, минимизировать экологические риски, существенно снизить затраты на ремонт и техническое обслуживание, увеличить в перспективе установленную мощность гидростанции на 10%.

На Саратовской ГЭС проходит программа модернизации гидротурбинного оборудования. Мощность гидроагрегатов возрастает на 6 МВт. В связи с чем возникает необходимость замены системы возбуждения гидроагрегатов.

Существующая система возбуждения отработала свой срок службы, не соответствует по параметрам для модернизированного оборудования и потому требует замены.

Принципиальных отличий в существующих системах возбуждения нет. Но разнообразие фирм производителей, номинальных параметров оборудования, стоимость и производительность заставляют задуматься, кому отдать предпочтение.

Чтобы разобраться в данном вопросе мы проанализируем несколько систем возбуждения, как Российского, так и зарубежного производства. Сравним их и выберем оптимальный вариант.

Цель работы.

Модернизации тиристорной системы возбуждения гидрогенераторов Саратовской ГЭС. Приведение альтернатив заменяемого оборудования и опыта эксплуатации подобных систем на других ГЭС.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи.

1. Анализ оборудования на соответствие современным, отечественным стандартам.
2. Выявление недочётов в конструкции оборудования с целью формирования более правильного технического задания.

Научная новизна и прикладная польза проводимого исследования

Результатом моей научной работы будет анализ существующих систем возбуждения и рекомендации по замене. Субъективная оценка существующих аналогов. Выбор оборудования, удовлетворяющего техническому заданию. Возможная компоновка и размещение в машинном зале Саратовской ГЭС.

Критерии, которым должны соответствовать модернизированные системы возбуждения гидрогенераторов:

1. Обеспечивать надежное питание обмотки ротора в нормальных и аварийных режимах;

2. Допускать регулирование напряжения возбуждения в достаточных пределах с учетом увеличения номинальных параметров;
3. Обеспечивать быстродействующее регулирование возбуждения с высокими кратностями форсирования в аварийных режимах;
4. Осуществлять быстрое развозбуждение и в случае необходимости производить гашение поля в аварийных режимах.

Личный вклад автора.

Проанализировал работу оборудования, сопоставил установленное оборудование с требованиями стандартов, сделал выводы из опыта эксплуатации. На основании требований системного оператора проанализировал рынок и выбрал новую систему тиристорного возбуждения, удовлетворяющую условиям эксплуатации. Привел расчеты по выбору тиристорных мостов и предложил вариант для замены устаревшего оборудования. Произвел экономическую оценку проекта, расчет рентабельности и сроки окупаемости.

AUTOABSTRACT

Almost all existing hydropower plants were built in the USSR and most of the equipment has already fulfilled its passport service life. At the moment, there is a need to replace the main and auxiliary equipment of many hydropower plants.

Active technical re-equipment of the Saratov HPP began in 2009. Changing the main and auxiliary equipment. The implementation of the Program of complex modernization (PCM) of the Saratov HPP will improve the reliability and safety of equipment operation, minimize environmental risks, significantly reduce the cost of repair and maintenance, increase the installed capacity of the hydroelectric power plant by 10% in the future.

Saratov HPP is undergoing a program of modernization of hydro turbine equipment. Power generating units is increased by 6 MW. In this connection, there is a need to replace the excitation system of hydraulic units.

The existing excitation system has fulfilled its service life, does not meet the parameters for the upgraded equipment and therefore requires replacement.

There are no fundamental differences in the existing excitation systems. But the variety of manufacturers, nominal parameters of the equipment, cost and performance make you think about who to give preference.

To understand this issue, we will analyze several excitation systems, both Russian and foreign production. Compare them and choose the best option.

Purpose of work.

Modernization of the thyristor excitation system of the Saratov hydroelectric power plant. Bringing alternatives to the replaced equipment and experience of operation of similar systems at other HPPs.

To achieve this goal, the following tasks were solved.

1. Analysis of equipment for compliance with modern, domestic standards.
2. Identification of defects in the design of equipment in order to form a more correct technical specifications.

Scientific novelty and applied benefits of the research

The result of my scientific work will be an analysis of existing excitation systems and recommendations for replacement. Subjective evaluation of existing analogues. Selection of equipment that meets the technical task. Possible layout and placement in the engine room of the Saratov HPP.

Criteria that must be met for the upgraded excitation system of hydraulic generators:

1. Provide reliable power to the rotor winding in normal and emergency modes;
2. Allow the regulation of the excitation voltage within sufficient limits, taking into account the increase in the nominal parameters;
3. To provide high-speed regulation of excitation with high acceleration multiplicities in emergency conditions;
4. To carry out rapid excitation and, if necessary, to extinguish the field in emergency modes.

Personal contribution of the author.

Analyzed the operation of the equipment, compared the installed equipment with the requirements of standards, drew conclusions from the experience of operation. Based on the requirements of the system operator, he analyzed the market and chose a new thyristor excitation system that meets the operating conditions. He gave calculations on the choice of thyristor bridges and offered an option to replace obsolete equipment. Made an economic assessment of the project, calculation of profitability and payback period.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 История создания систем возбуждения.....	11
1.1 Принцип работы.....	11
2 Существующая система возбуждения.....	13
2.1 Назначение.....	13
2.2 Техническое описание.....	15
2.3 Устройство и работа составных частей системы возбуждения ...	16
2.4 Шкаф гашения поля ШГП.....	17
2.5 Преобразовательная установка ТП.....	17
2.6 Щит управления.....	18
2.7 Программное обеспечение цифровой системы управления возбуждением.....	20
2.8 Система управления возбуждением СУВ.....	22
2.9 Комплекс защит системы возбуждения КЗВ.....	22
3 Система возбуждения, установленная на Майнской ГЭС.....	28
3.1 Назначение.....	28
3.2 Технические требования СТС.....	28
3.3 Тиристорный преобразователь.....	29
3.4 Система управления и регулирования.....	30
3.5 Пульт местного управления.....	30
4 Предложения на рынке.....	32
4.1 Компания АВВ.....	32
4.2 НПО ПАО «ЭЛСИБ».....	35
4.3 Концерн Силовые машины.....	38
5 Выбор оборудования.....	48
5.1 Особые условия проведения работ.....	48
5.2 Предлагаемая система возбуждения.....	48
5.3 Основные характеристики проектируемой системы возбуждения.....	48
5.4 Основные характеристики проектируемого выпрямительного трансформатора.....	49
5.5 Общие технические требования к тиристорному преобразователю.....	49
5.6 Функции системы возбуждения.....	50
5.7 Конструктивные особенности системы.....	52
5.8 Технологические решения.....	55
5.9 Решения по защитам СВ и цепей возбуждения ГГ.....	56
6 Технический расчет.....	57
6.1 Требования к тиристорным преобразователям.....	57
6.2 Расчетные значения токов выпрямительного трансформатора ...	59
6.3 Уставки токовых защит выпрямительного трансформатора.....	60
6.4 Защиты ротора ГГ от перегрузки.....	62
6.5 Уставки встроенных ограничителей СВ.....	63
7 Экономический расчет.....	65

7.1 Оценка объемов продаж электроэнергии	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	70
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	71
ПРИЛОЖЕНИЕ А-Б	73

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы.

Практически все существующие ГЭС построены ещё в СССР и большая часть оборудования уже отработала свой паспортный срок службы. На данный момент назрела необходимость замены основного и вспомогательного оборудования многих ГЭС.

Активное техническое перевооружение Саратовской ГЭС началось с 2009 года. Меняется основное и вспомогательное оборудование. Реализация Программы комплексной модернизации (ПКМ) Саратовской ГЭС позволит повысить надежность и безопасность эксплуатации оборудования, минимизировать экологические риски, существенно снизить затраты на ремонт и техническое обслуживание, увеличить в перспективе установленную мощность гидростанции на 10%.

На Саратовской ГЭС проходит программа модернизации гидротурбинного оборудования. Мощность гидроагрегатов возрастает на 6 МВт. В связи с чем возникает необходимость замены системы возбуждения гидроагрегатов.

Существующая система возбуждения отработала свой срок службы, не соответствует по параметрам для модернизированного оборудования и потому требует замены.

Принципиальных отличий в существующих системах возбуждения нет. Но разнообразие фирм производителей, номинальных параметров оборудования, стоимость и производительность заставляют задуматься, кому отдать предпочтение.

Чтобы разобраться в данном вопросе мы проанализируем несколько систем возбуждения, как Российского, так и зарубежного производства. Сравним их и выберем оптимальный вариант.

Цель работы.

Модернизации тиристорной системы возбуждения гидрогенераторов Саратовской ГЭС. Приведение альтернатив заменяемого оборудования и опыта эксплуатации подобных систем на других ГЭС.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи.

3. Анализ оборудования на соответствие современным, отечественным стандартам.
4. Выявление недочётов в конструкции оборудования с целью формирования более правильного технического задания.

Объект исследования.

Тиристорные системы возбуждения гидрогенераторов Саратовской ГЭС.

Предмет исследования.

Тиристорные системы возбуждения гидрогенераторов. Модернизация существующих систем и комплексные испытания при воде в эксплуатацию.

Задачи исследования.

1. Анализ оборудования на соответствие современным стандартам.
2. Наблюдение за оборудованием в процессе эксплуатации.

3. Выявление недочётов в конструкции оборудования с целью формирования более правильного технического задания.
4. Перенос опыта модернизации систем возбуждения на других станциях Российской Федерации и опыт зарубежных партнеров.

Методы исследования.

В данной работе были использованы следующие методы исследования:

1. Анализ работы оборудования во время эксплуатации.
2. Опыт модернизации аналогичных станций.
3. Анализ предложений на рынке электротехнического оборудования и выбор оптимального варианта.
4. Техничко-экономический расчет.

Научная новизна и прикладная польза проводимого исследования

Результатом моей научной работы будет анализ существующих систем возбуждения и рекомендации по замене. Субъективная оценка существующих аналогов. Выбор оборудования, удовлетворяющего техническому заданию. Возможная компоновка и размещение в машинном зале Саратовской ГЭС.

Критерии, которым должны соответствовать модернизированные системы возбуждения гидрогенераторов:

1. Обеспечивать надежное питание обмотки ротора в нормальных и аварийных режимах;
2. Допускать регулирование напряжения возбуждения в достаточных пределах с учетом увеличения номинальных параметров;
3. Обеспечивать быстродействующее регулирование возбуждения с высокими кратностями форсирования в аварийных режимах;
4. Осуществлять быстрое развозбуждение и в случае необходимости производить гашение поля в аварийных режимах.

Личный вклад автора.

Проанализировал работу оборудования, сопоставил установленное оборудование с требованиями стандартов, сделал выводы из опыта эксплуатации. На основании требований системного оператора проанализировал рынок и выбрал новую систему тиристорного возбуждения, удовлетворяющую условиям эксплуатации. Привел расчеты по выбору тиристорных мостов и предложил вариант для замены устаревшего оборудования. Произвел экономическую оценку проекта, расчет рентабельности и сроки окупаемости.

1 История создания систем возбуждения

Первая цифровая система возбуждения полностью микропроцессорного управления была изготовлена и внедрена в 1989 году компанией АВВ, до этого статические тиристорные системы возбуждения были в основном аналоговыми.

Цифровая система возбуждения - это микропроцессорная система возбуждения синхронных машин. Предназначена для автоматического управления возбуждением, регулируемым постоянным током генераторов, синхронных компенсаторов реактивной мощности, а также синхронных двигателей промышленных установок в нормальных и аварийных режимах. Применение цифровых систем возбуждения позволяют реализовать высокоэффективные алгоритмы управления возбуждением, обеспечивающие устойчивую работу управляемой электрической машины в синхронном режиме, её защиту в аварийных ситуациях, а также энергосбережение, выбор наилучшего режима сети установкой оптимального коэффициента мощности $\cos(\varphi)$, сбор, запись и отображение информации для оценки состояния аппаратуры и синхронной машины. Также использование цифровых систем возбуждения даёт возможность стабилизировать режим работы генератора в сети, поддерживая необходимое напряжение при небольших его изменениях, а при больших снижениях - форсированием тока возбуждения. Внедрение цифровых систем возбуждения позволяет добиться наиболее оптимальных режимов работы синхронной машины, которые невозможно достичь при использовании релейно-контакторных, аналоговых схем и непрограммируемых цифровых систем с жёсткой логикой.

1.1 Принцип работы

Система возбуждения генератора создает МДС, которая наводит в магнитной системе машины магнитное поле, обеспечивающее процесс образования электроэнергии.

Мощность, потребная для возбуждения, составляет 0,4— 0,6 % мощности генератора.

Система возбуждения гидрогенераторов обеспечивает питание обмотки ротора во всех эксплуатационных режимах, в том числе и в переходных, и должна рассчитываться на работу с автоматическим регулятором возбуждения (АРВ).

Системы возбуждения должны обеспечивать в продолжительном режиме работы ток и напряжение, превышающие номинальные значения тока и напряжения возбуждения генераторов не менее чем на 10 %. Кратности форсирования напряжения и тока возбуждения по отношению к их номинальным значениям должны быть не менее двух, а скорость нарастания напряжения возбуждения при заданном снижении напряжения на входе АРВ и при внезапных КЗ в сети — не менее двух относительных единиц в секунду.

В зависимости от условий работы гидрогенераторы изготавливаются с электромашинными возбудителями или с управляемыми (тиристорными или ионными) преобразователями. В системе электромашинного возбуждения применяется возбудитель постоянного тока, расположенный на одном валу с генератором.

В системах возбуждения с тиристорными или ионными преобразователями используются схемы как независимого возбуждения, так и самовозбуждения. В случае независимого возбуждения в качестве источника питания используется вспомогательный синхронный генератор, расположенный на одном валу с главным генератором между верхней крестовиной и ротором. Если система возбуждения выполняется по схеме самовозбуждения, питание обмотки ротора осуществляется от зажимов статора гидрогенератора через понижающий трансформатор и выпрямительный управляемый преобразователь. Регулирование возбуждения обеспечивается во всем диапазоне режимов.

2 Существующая система возбуждения

2.1 Назначение

Система возбуждения выполнена по схеме самовозбуждения и предназначена для питания автоматически регулируемым выпрямленным током параллельно соединенные обмотки двух генераторов, подключенных к одному генераторному выключателю, в нормальных и аварийных режимах, предусмотренных требованиями государственных стандартов.

Обозначение системы возбуждения СТС-МР-425-2860-2,5 УХЛ4 приведено в рисунке 1.

СТС		МР		425		2860		2,5		УХЛ	4
											Категория размещения
											Климатическое исполнение
											Кратность форсировки
											Номинальный ток, А
											Номинальное напряжение, В
											Микропроцессорная, резервированная
											Система тиристорная самовозбуждения

Рисунок 1 - Обозначение системы возбуждения

Система возбуждения обеспечивает такие эксплуатационные режимы работы гидрогенератора, как:

- программное начальное возбуждение от агрегатных собственных нужд или от аккумуляторной батареи;
- холостой ход;
- подгонку напряжения генератора к напряжению сети при включении в сеть методом точной синхронизации;
- поддержание напряжения генератора в соответствии с заданной уставкой при работе агрегата в энергосистеме;
- работу в энергосистеме с нагрузками и перегрузками в соответствии с требованиями ГОСТ;
- форсировку возбуждения с заданной кратностью по напряжению и току при нарушениях в энергосистеме, вызывающих снижение напряжения на шинах станции;
- развозбуждение при нарушениях в энергосистеме, вызывающих увеличение напряжения на шинах станции;
- гашение поля при действии защит переводом преобразователя в инверторный режим с отключением устройства гашения поля;
- разгрузку генератора по реактивной мощности до величины близкой к нулю при плановом останове генератора;

- отключение от сети оператором или автоматически, в том числе, под действием защит.

В цифровой системе управления возбуждением выделены следующие функции:

- автоматический регулятор возбуждения (АРВ);
- система управления возбуждением (СУВ);
- защиты системы возбуждения (КЗВ).

Основным назначением регулятора при работе генератора в сети является поддержание напряжения на шинах станции в соответствии с заданными значениями напряжения в точке регулирования и статизма по напряжению при изменении реактивного тока. Принят пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон регулирования напряжения с регулируемым коэффициентом по отклонению напряжения в низкочастотном диапазоне и относительно малым постоянным коэффициентом в диапазоне частот электромеханических колебаний. Он обеспечивает высокую точность регулирования и устойчивость генератора на холостом ходу и при работе в сети в режимах малых и средних нагрузок.

Технологические функции представляют собой функции изменения состояния генератора и системы возбуждения, выполняемые по командам оператора. К ним относятся:

- начальное возбуждение генератора;
- гашение поля возбуждения;
- подгонка оборотов параллельно работающих генераторов перед начальным возбуждением;
- уравнивание напряжения генератора с напряжением сети перед включением выключателя генератора при точной синхронизации;
- разгрузка генератора по реактивной мощности при штатном отключении генератора;
- перевод по команде оператора каналов управления с 1 на 2.

В состав программного обеспечения регулятора входят программы, осуществляющие логический анализ входных дискретных сигналов и датчиков режимных параметров. Для контроля вычислительного процесса используются аппаратные средства, предусмотренные архитектурой микроконтроллера. Микроконтроллер осуществляет также контроль уровня напряжений источников питания регулятора.

На основании анализа этой информации формируются сигналы отказа регулятора. Одновременно формируется диагностическая информация, облегчающая поиск неисправности.

Система возбуждения с цифровым регулятором обеспечивает все эксплуатационные режимы работы двух генераторов, а именно:

- ПИД закон регулирования напряжения генератора;

- поддержание напряжения на выводах генераторов в соответствии с заданной уставкой, с точностью $\pm 0,5\%$ относительно заданной статической характеристики.
- форсирование возбуждения с настраиваемой уставкой реле форсировки при глубоких снижениях напряжения на выводах генератора по отношению к заданной статической характеристике;
- ограничение минимального тока возбуждения в зависимости от величины активного тока в соответствии с заводской характеристикой генератора;
- ограничение перегрузки ротора по времязависимой характеристике в соответствии с данными завода изготовителя генераторов;
- безударный переход с регулятора, находящегося в работе на регулятор, находящийся в резерве;
- сигнализацию о режиме работы генераторов и системы возбуждения;

2.2 Техническое описание

В техническом описании приведены технические характеристики, данные по устройству и принцип действия статической тиристорной системы возбуждения гидрогенераторов Саратовской ГЭС.

Характерной особенностью системы возбуждения является то, что аппаратура управления, регулирования и защиты выполнена на базе микропроцессорной техники. Система возбуждения имеет 100% резерв (два независимых идентичных канала) по аппаратуре управления, регулирования и защит, современные методы контроля и возможность работы с АСУ ТП станции.

Силовой тиристорный преобразователь выполнен на параллельных мостах с резервированием (n+1) мост.

Основные технические данные системы возбуждения приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные технические данные системы возбуждения

Наименование параметра	Значение
1. Номинальное напряжение статора генератора, В	10 500
2. Номинальный ток системы возбуждения, А	2860
3. Номинальное напряжение системы возбуждения, В	425
4. Длительность форсировки, с	50
5. Кратность форсирования: по напряжению, о.е. по току, о.е.	2,5 2,0
6. Частота напряжения питания сети, Гц	50
7. Охлаждение	Естественное воздушное

Состав системы возбуждения

Конструктивно система возбуждения типа СТС-МР-425-2860-2,5 УХЛ4 состоит из отдельных сборочных единиц:

- трансформатор преобразовательный ТП;
- щит силовой ЩС;
- щит управления ЩУ;
- защитное сопротивление.

Трансформатор преобразовательный ТСЗП-4000/15УЗ.

Основные технические характеристики трансформатора преобразовательного приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики ТП

Наименование параметра	Значение
Номинальная мощность трансформатора, кВА	3168
Число фаз	3
Частоты питания сети, Гц, длительно	50
Схема соединения обмоток	Y/ Δ -11
Номинальное линейное напряжение сетевой обмотки, кВ	10,5
Номинальное напряжение вентильной обмотки (линейное), В	785
Ток сетевой обмотки при номинальной нагрузке преобразователя, А	174,5
Ток вентильной обмотки при номинальной нагрузке преобразователя, А	2334
Ток вентильной обмотки в режиме форсирования, А (в течение 50 с)	4243

В первичную обмотку трансформатора встроены трансформаторы тока типа ТПОЛ-10-0,5/Р, $K_{ТТ}= 600/5$.

2.3 Устройство и работа составных частей системы возбуждения

Система возбуждения СТС-МР-425-2860-2,5 УХЛ4 гидрогенераторов Саратовской ГЭС выполнена одногрупповой. Силовое питание тиристорных преобразователей осуществляется от шин генераторного напряжения через преобразовательный трансформатор ТП. Для подключения трансформатора к тиристорным преобразователям служит шкаф ввода ШВ.

Шкаф ввода ШВ

Устройство начального возбуждения УНВ, которое получает питание от собственных нужд станции $=220\text{В}$ через автомат SF1 и $\sim 380\text{В}$ через автомат SF2. Перед начальным возбуждением контроллер одновременно (от одного выхода) включает контакторы КМ1 и КМ2 шкафа ШВ, которые подключают УНВ к шинам (+) и (-) ротора. После включения КМ1 и КМ2 аппаратно включается КМ3 и подает напряжение на УНВ. Если перед начальным возбуждением на УНВ поданы оба напряжения ($\sim 380\text{В}$ и $=220\text{В}$), то питание УНВ осуществляется от $\sim 380\text{В}$, а напряжение $=220\text{В}$ заперто через диод. Если по каким-то причинам

напряжение переменного тока отсутствует, либо ниже напряжения от аккумуляторной батареи после выпрямителя, УНВ получает питание от аккумуляторной батареи. После начального возбуждения автоматы SF1 и SF2 могут быть отключены, их положения после возбуждения не анализируются, т.е. анализ производится только для режима готовности, при этом достаточно включения одного из автоматов.

Процесс начального возбуждения начинается автоматически от САУ ГА или по команде оператора с АЦУ, после подгонки оборотов генераторов, включенных на параллельную работу.

Аппарат защиты от токов утечки «Аргус» предназначен для защиты цепей ротора от опасных последствий утечек тока на землю и контроля сопротивления изоляции относительно земли.

Аппарат имеет два выхода:

- предупредительный «Сопротивление 15 кОм»;
- аварийный «Сопротивление 4 кОм».

Сигналы поступают на промежуточные реле К9, К10 (ЩУ), которые одной парой контактов выдают сигнал на ЦЩУ, а другой на КРУЗ для записи в «дневник событий».

В зону контроля токов утечки входят:

- Вторичная обмотка ТТВ;
- Кабельная связь ТТВ – ТВ;
- Шинопровод постоянного тока;
- Роторы гидрогенераторов.

Принцип действия основан на наложении на контролируемые цепи переменного тока частотой 25 Гц.

2.4 Шкаф гашения поля ШГП

Контактор КМ1 автоматически (без СУВ) включается и замыкает ротор на защитное сопротивление при отключении АГП и срабатывании тиристорного разрядника FV.

Посредством автомата SF1 в ШГП подается оперативное питание $U=220$ В, автомат SF2 осуществляет питание измерительных преобразователей, которые используются для передачи информации о напряжении и токе ротора на ЦЩУ.

Посредством плат реле контроля (5ФА.579.549) выполняется контроль цепей включения и отключения АГП. Предусмотрена также блокировка от многократных операций АГП.

2.5 Преобразовательная установка ТП

Преобразовательная установка ТП системы возбуждения состоит из шести однотипных шкафов ШТП, которые подключаются к шинам переменного

напряжения посредством разъединителя QS1, а к шинам выпрямленного напряжения посредством разъединителей QS2.

Из каждого ШТП в СУВ выдаются сигналы превышения температуры воздуха в ШТП и превышения температуры тиристоров по которым в САУ ГА должен быть выдан сигнал «Неисправность СВ».

Нормально в работе должны быть все шесть преобразователей. Система возбуждения должна обеспечивать все режимы работы генератора при отключении одного ШТП и выполнить ограничение режима работы при отключении двух ШТП. При отключении большего количества ШТП поле генератора должно быть погашено.

2.6 Щит управления

Кассета КРУЗ

КРУЗ функционально состоит из двух частей.

Первая часть состоит из следующих блоков:

- блока универсального контроллера БУК1;
- платы согласования ПС 1;
- блока датчиков регулирования и защиты БДРЗ;
- платы дискретного ввода/вывода ПДВВ - 2 шт.

Вторая часть состоит из следующих блоков:

- блока универсального контроллера БУК2;
- платы согласования ПС2;
- блока датчиков системы управления возбуждением БДСУВ;
- платы дискретного ввода/вывода ПДВВ - 3 шт.

Первая часть кассеты выполняет функции регулирования, управления и защит за исключением защит преобразовательного трансформатора (ОТ, ПФ).

Вторая часть выполняет функции контроля силового оборудования, управления скоростями генераторов и защит преобразовательного трансформатора.

По своему функциональному назначению первая часть кассеты является ведущей, вторая выполняет вспомогательные функции и передает результаты обработки информации в основной контроллер.

Блок датчиков БДРЗ и БД СУВ предназначены для приема сигналов от измерительных трансформаторов напряжения и тока, преобразования их в токовые сигналы 0-30 мА и гальванического разделения входных измерительных цепей и цепей микроконтроллера.

Выходы блоков датчиков БДР№ и БД СУВ подключены к нормализаторам аналого-цифровых преобразователей АЦП блоков универсальных контроллеров для согласования входных сигналов. Платы блоков датчиков установлены на обратной стороне кассеты КРУЗ.

Платы дискретного ввода/вывода ПДВВ предназначены для преобразования входных сигналов 24 В к уровню 5 В и выходных с 5 В до 24В.

Кассета управления тиристорами КУТ.

Кассета КУТ содержит:

- блок питания БП;
- блок выпрямителей БВ;
- блоки управления тиристорами БУТ.

Блок питания БП и блок выпрямителей БВ служат для согласования напряжения питания, поступающего на преобразователи ИП1÷ИП6.

Блоки управления тиристорами БУТ1 и БУТ2 обеспечивают: ограничение, блокировку, заполнение и усиление импульсов, поступающих от цифрового регулятора возбуждения ЦРВ.

В БУТ использован шестиканальный, повентильный принцип преобразования и усиления импульсов.

Каждый из шести каналов состоит - из гальванической опторазвязки ГОР; ограничителя длительности импульсов ОДИ; блокирующего, распределяющего и заполняющего импульсы звена; выходного усилителя ВУ. Длительность и фаза импульсов определяется цифровым регулятором возбуждения ЦРВ. Включение и блокировка (отключение) импульсов осуществляется также по сигналу от ЦРВ, а состояние, в котором находятся все каналы преобразования импульсов, фиксируется индикатором состояния ИС и передается на ЦРВ.

Кроме того, для заполнения импульсов управления в БУТ имеются встроенный импульсный генератор высокой частоты (20 кГц) и двухтактный распределитель ГР. Выходной усилитель ВУ усиливает противофазные высокочастотные сигналы и благодаря двухтактному принципу усиления через выходные трансформаторы импульсы управления передаются на потенциал вентилей тиристорного преобразователя ТП.

Питание БУТ осуществляется от двух DC/DC преобразователей постоянных напряжений.

Панель управления и информации ПУИ.

Панель ПУИ предназначена для получения обобщенной информации о состоянии оборудования системы возбуждения, режима работы генератора и управления возбуждением генератора при наладке и испытаниях.

Для удобства эксплуатации предусмотрены кнопки управления:

- канал 1, канал 2 не готов (при нажатии этих кнопок на УНИПО должны высвечиваться неисправности, приводящие к неготовности);
- при устранении неисправности светодиод неготовности может быть погашен с пульта УНИПО);
- канал 1, канал 2 включен (при нажатии этих кнопок на невозбужденном генераторе вводится в работу соответствующий канал, ввод канала с ПУИ на возбужденном генераторе программно запрещен);
- сброс защит (при нажатии на эту кнопку происходит квитирование защиты: в САУ ГА и светодиод ПУИ);
- так как защиты могут сработать сразу в двух кассетах КРУЗ, кнопка «Сброс защит» действует сразу на две кассеты.

Следует иметь в виду, что при срабатывании защит, выполненных БУК-2, информация о срабатывании должна передаваться в БУК-1, для того, чтобы выдать сигнал «Работа защит» в САУ ГА.

При включении местного управления появляется возможность включить и отключить возбуждение и изменять уставку с местного пульта, производить перевод каналов при включенном возбуждении, при этом на ПДВВ2 Вход 21 подается сигнал «Местное управление». Если в режиме «Местное управление» на КРУЗ придут противоречивые команды с ЦЩУ и с местного пульта, преимущество выполнения имеет сигнал с местного пульта.

Реле РТС служит для контроля температуры тиристоров и выдачи сигнала при ее превышении.

2.7 Программное обеспечение цифровой системы управления возбуждением

Автоматический регулятор возбуждения АРВ

Алгоритмы формирования управляющих сигналов регулятора АРВ.

Регулятор возбуждения АРВ, функционально входящий в каждый канал регулирования системы возбуждения обеспечивает:

- цифровое измерение режимных параметров гидрогенератора и системы возбуждения;
- регулирование напряжения статора генератора U_g по ПИД закону с поддержанием напряжения на шинах электростанции в соответствии с заданными значениями и статизмом при изменении реактивной мощности генератора;
- ограничение перегрузок тока возбуждения по величине и длительности;
- ограничение минимального возбуждения ОМВ;
- форсировку возбуждения при понижении напряжения статора генератора более 90% его номинального значения.

К функциям цифрового измерения режимных параметров генератора и системы возбуждения относятся:

- измерение напряжения U_g и тока I_g статора генератора;
- измерение полной S_g , реактивной Q_g и активной P_g мощностей генератора;
- измерение коэффициента мощности $\cos \phi$;
- измерение частоты напряжения статора генератора f_g ;
- измерение тока I_b и напряжения U_b возбуждения;
- измерение напряжения сети $U_{\text{сети}}$ в точке синхронизации генератора;
- измерение напряжения синхронизации импульсов управления СУТ ТП.

Все сигналы, полученные от различных измерительных датчиков, перед преобразованием в цифровую форму проходят первичную обработку, которая заключается в потенциальной развязке, масштабировании и фильтрации. После

этого измерительные аналоговые сигналы поступают на аналого-цифровой преобразователь АЦП блоков универсальных контроллеров.

Обработка этих сигналов позволяет получить действующие и средние значения режимных параметров гидрогенератора и системы возбуждения.

Алгоритм работы регулятора напряжения статора U_g можно представить в виде следующих функциональных устройств:

- формирования уставок регулятора напряжения U_g , управление режимом начального возбуждения с программным пуском для обеспечения плавного нарастания напряжения статора генератора при включении возбуждения;
- ограничение напряжения статора U_g при изменении частоты генератора с введением коэффициента снижения напряжения, В/Гц;
- автоматической подгонки напряжения статора генератора U_g к напряжению сети при точной синхронизации (ТС);

Модуля ПИД-регулятора, включающего в себя функции:

- регулирования по отклонению напряжения статора генератора от заданной уставки с коэффициентом усиления $K_{0U} = 0 \div 10$ е.в.н./е.н.;
- стабилизации по первой производной изменения напряжения статора с коэффициентом усиления $K_{1U} = 0 \div 7,5$ е.в.н./е.н./с;
- стабилизации внутреннего движения с коэффициентом усиления по первой производной сигнала тока ротора $K_{1I_r} = 0 \div 3$ е.в.н./е.т.н./с;
- интегральной составляющей с постоянной времени $T_i = 0,1 \div 10$ с;
- статизма по реактивной мощности с коэффициентом стабилизации $K_{стаб.} = 0 \div 10\%$.

В состав функциональных устройств регулирования тока возбуждения I_v входят:

- формирователь уставки регулятора тока возбуждения с воздействием оперативных команд «Больше» или «Меньше»;
- регулятор тока возбуждения;
- ограничители перегрузок тока возбуждения по величине и длительности с времязависимой характеристикой;
- модуль ПИ-регулятора по отклонению тока возбуждения с коэффициентом усиления $K_{pIVB} = 0 \div 10$ е.в.н./е.т.в.н. и функциями ограничения перегрузок тока возбуждения в соответствии с перегрузочными характеристиками генератора.

Селектор регулятора в зависимости от требуемых условий работы генератора осуществляет автоматическое переключение режимов регулирования или ограничения, выходные сигналы которых поступают на вход сумматора ΣAPB регулятора APB.

На вход сумматора также подаются сигналы рабочей точки регулирования $U_{см}$, разомкнутого контура и модуля релейной форсировки.

Система управления тиристорами СУТ формирует импульсы управления, и в зависимости от сигналов регулятора обеспечивает необходимый диапазон изменения угла открытия тиристорov преобразователя.

2.8 Система управления возбуждением СУВ

Программный модуль системы управления возбуждением СУВ выполняет операции приёма и обработки команд оператора и защит, функции контроля, управления и мониторинга системы возбуждения, а именно:

- сбор информации о состоянии (включено, отключено) всей коммутационной аппаратуры системы возбуждения генератора;
- сбор информации о работе источников питания аппаратуры управления системой возбуждения;
- на основе собранной информации проводит анализ состояния аппаратуры управления, принимает решение о переводе на резервный канал регулирования, запрет форсировки и ограничение режима работы генератора.

Вся информация о работе системы возбуждения и генератора записывается в память компьютера с указанием последовательности событий ("дневник событий") и отображается на специальном дисплее «УНИПО».

Выбор канала регулирования перед начальным возбуждением осуществляется по команде с АЦУ. Вся информация о работе системы возбуждения, параметрах режима работы генератора, ограничения режимов его работы (перегрузка или перегрев ротора, работа в режиме ограничения минимального возбуждения), использовании всего регулировочного диапазона (уставка максимальная либо минимальная), неисправностях системы возбуждения, срабатывания защит системы возбуждения либо генератора фиксируются в памяти устройства с указанием времени наступления события, отображается на пульте УНИПО шкафа.

2.9 Комплекс защит системы возбуждения КЗВ

Отсечка тока (ОТ)

Защита реагирует на увеличение тока хотя бы в двух фазах выпрямительного трансформатора (ВТ). Информация о фазных токах поступает от трансформаторов тока ТА А, ТА В и ТА С, установленных на первичной стороне выпрямительного трансформатора.

Защита производит сравнение текущего значения тока со значением уставки срабатывания. Условие срабатывания защиты: $I_{рот} \geq I_u$ от.

При совпадении условия срабатывания защита запускается. Если в течение времени отсчета таймера $t_{у.от}$ условие срабатывания не исчезает производится выдача сигналов управления на отключение генераторного выключателя Вг и автомата гашения поля АГП, зажигается светодиод на лицевой панели блока

контроллера, производится запись в дневник событий, фиксирующая время срабатывания защиты и факт срабатывания.

Защита от превышения длительности форсировки (ПФ)

Защита реагирует на увеличение тока хотя бы в двух фазах выпрямительного трансформатора (ВТ). Информация о фазных токах поступает от трансформаторов тока ТА А, ТА В и ТА С, установленных на первичной стороне выпрямительного трансформатора. Защита производит сравнение текущего значения тока со значением уставки срабатывания. Условие срабатывания защиты: $I_{рот} \geq I_{у\text{ пф}}$.

При совпадении условия срабатывания защита запускается. Если в течение времени отсчета таймера $t_{у.пф}$ условие срабатывания не исчезает производится выдача сигналов управления на отключение генераторного выключателя Вг и автомата гашения поля АГП, зажигается светодиод на лицевой панели блока контроллера, производится запись в дневник событий, фиксирующая время срабатывания защиты и факт срабатывания.

Защита от короткого замыкания на кольцах ротора (КЗК)

Алгоритм выявления короткого замыкания на стороне постоянного тока преобразователя основан на том факте, что при возникновении к.з. в цепи ротора генератора, возрастают фазные токи на входе тиристорного преобразователя и падает напряжение возбуждения. Выявление к.з. на стороне постоянного тока осуществляется по контролю тока тиристорного преобразователя и напряжению возбуждения. Производится расчет действующего значения тока каждой фазы и среднего значения напряжения возбуждения, которые затем сравниваются со значениями уставок срабатывания. Условие срабатывания защиты: $I_{тп} \geq I_{у\text{ кз}}$ и $U_f \leq U_{у\text{ кз}}$. При выполнении условия срабатывания защиты, защита запускается.

Если в течение времени отсчета таймера $t_{у.кз}$ условие срабатывания не исчезает производится выдача сигнала на перевод тиристорного преобразователя в режим инвертирования, отключение автомата гашения поля АГП, отключение генераторного выключателя Вг, зажигается светодиод на лицевой панели блока контроллера, производится запись в дневник событий, фиксирующая время срабатывания защиты и факт срабатывания.

Защита от повышения напряжения генератора (ПН)

Контролируется линейное напряжение $U_{са}$ статора генератора на холостом ходу (выключатель генератора находится в положении «Отключено»).

Информация поступает с трансформаторов напряжения 2ТН и 3ТН, установленных на выводах генераторов (см. схему подключения системы возбуждения).

Защита производит сравнение текущего значения напряжения со значением уставки срабатывания. Условие срабатывания защиты: $U_g \geq U_{у\text{ пн}}$.

При срабатывании производится перевод тиристорного преобразователя в режим инвертора, зажигается светодиод на лицевой панели блока контроллера, производится запись в дневник событий, фиксирующая время срабатывания защиты и факт срабатывания.

В режиме холостого хода генератора защита должна включаться в работу при $U_{г} \geq 0.95 \cdot U_{г.н}$ с выдержкой времени $t_{у.пн2}$, чтобы избежать ложных срабатываний из-за возможного броска напряжения.

Защита от потери возбуждения (ПВ) генератора

Защита построена на принципе контроля сопротивления на выводах генератора.

При нормальной работе генератора с активно-индуктивной нагрузкой сопротивление на выводах генератора обычно располагается в первом квадранте комплексной плоскости сопротивлений. При потере возбуждения сопротивление генератора перемещается в четвертый квадрант той же плоскости.

Для срабатывания защиты необходимо, чтобы генератор работал в сети, наличие либо сигнала об отключении АГП, либо пропадание тока возбуждения, а также перемещение вектора сопротивления в указанную область.

При выполнении указанных условий защита запускается и, если в течение времени отсчета таймера условие срабатывания не исчезает, производится выдача сигнала на отключение выключателя генератора Вг и автомата гашения поля АГП, зажигается светодиод на лицевой панели блока контроллера, производится запись в дневник событий, фиксирующая время срабатывания защиты и факт срабатывания.

Защита от снижения частоты на холостом ходу генератора (СЧ)

Измерительные органы защиты производят непосредственное измерение частоты линейного напряжения $U_{СА}$ генератора. Защита работает только в том случае, когда генератор на холостом ходу (выключатель генератора находится в положении «Отключено»).

Защита производит сравнение текущего значения частоты f со значением уставки срабатывания $f_{у сч}$. Условие срабатывания защиты: $f \leq f_{у сч}$.

При выполнении условия срабатывания защиты, защита запускается и, если в течение времени отсчета таймера $t_{у сч}$ условие срабатывания не исчезает, защита срабатывает: производится выдача сигнала на гашение поля генератора переводом тиристорного преобразователя в режим инвертирования, зажигается светодиод на лицевой панели блока, производится запись в дневник событий, фиксирующая время срабатывания защиты и факт срабатывания.

Установлены следующие значения уставок срабатывания защиты:

- уставка по частоте $f_{у сч} = 35 \div 47$ Гц;
- время задержки срабатывания защиты $t_{у сч} = 0,5 \div 1,0$ с.

Защита от потери проводимости тиристорov (ШТТ)

Защита контролирует появление тока в нейтрали трансформаторов тока, установленных в каждом шкафу ШТП перед тиристорным преобразователем.

Входной сигнал – ток небаланса $I_{нб}$ с выхода датчика тока.

Защита выполнена двухступенчатой. Первая ступень выявляет факт потери проводимости тиристора в одном из тиристорных преобразователей. Вторая ступень выявляет факт анодного пробоя тиристора в одном из шести тиристорных преобразователей.

Производится сравнение текущего значения тока небаланса со значением уставки срабатывания.

Условие срабатывания первой ступени защиты: $I_{нб} \geq I_{у\text{пт}1}$.

Условие срабатывания второй ступени защиты: $I_{нб} \geq I_{у\text{пт}2}$.

При появлении одной из вышеперечисленных неисправностей через датчик начнет проходить ток небаланса частотой 50 Гц, затем по величине тока небаланса определяется в каком преобразователе неисправность и выдаётся соответствующий сигнал, зажигается светодиод на лицевой панели блока, производится запись в дневник событий, фиксирующая время срабатывания защиты и факт срабатывания.

Обе ступени защиты работают на сигнализацию.

Защита от несимметричного режима работы тиристорного преобразователя (НР)

Защита основана на выделении действующих значений напряжения первой ($U_{f1}, f_1 = 50$ Гц) и второй ($U_{f2}, f_2 = 100$ Гц) гармоник в напряжении возбуждения U_f .

Входной сигнал – выпрямленное напряжение преобразователя; он преобразуется в цифровую форму, а затем из него выделяются действующие значения напряжения гармоник.

Условие срабатывания защиты: $U_{f1} \geq U_{у\text{нр}1}$ или $U_{f2} \geq U_{у\text{нр}2}$.

При превышении уставки срабатывания, защита запускается. Защита выполнена двухступенчатой по времени срабатывания. Если в течение времени отсчета таймера первой ступени $t_{у\text{нр}1}$ условие срабатывания не исчезает, защита срабатывает: производится переход на другой канал управления, выдаются соответствующие сигналы и производится запись в дневник событий, фиксирующая время и факт срабатывания данной ступени защиты. Если несимметричный режим работы продлится на время, превышающее уставку второй ступени $t_{у\text{нр}2}$, защита сработает и выдаст сигнал на отключение генераторного выключателя Вг, автомата гашения поля АГП, а так же перевод преобразователя в режим инвертора; зажигается светодиод на лицевой панели блока контроллера, с последующей записью в дневник событий.

Перегрузка ротора генератора

Сигнал появляется при превышении током ротора номинального значения (при $I_{рот.} = 1,07 I_{рот.ном.}$ проходит сигнал «перегрузка ротора» в системе возбуждения с выходом в САУ ГА «Овация»).

Оперативный персонал при появлении сигнала должен проверить перегрузку по току ротора и быть готовым к тому, что в соответствии с Таблицей 1 произойдет срабатывание устройств ограничения тока ротора.

Если сигнал о перегрузке появился во время переходных режимов в энергосистеме (качаниях, форсировках при КЗ или существенных снижениях напряжения при набросах нагрузки и т.д.), то оперативный персонал не должен предпринимать никаких мер, не должен вмешиваться в работу устройств ограничения.

При достаточных уровнях напряжения и малых кратностях перегрузки, т.е. при появлении сигнала во время нормального положения в энергосистеме (отсутствие качаний, значительных набросов нагрузки, коротких замыканий), а также при нормальной работе АРВ (отсутствие ложных форсировок и качаний при нормальном положении в энергосистеме) рекомендуется снять перегрузку ключом управления реактивной мощностью.

Ограничение перегрузки ротора

Персоналу необходимо убедиться по щитовым приборам, что после прохождения сигнала «Ограничение режима» произошло снижение тока ротора до значения, близкого к номинальному, и снялся сигнал "Перегрузка ротора генератора". Далее по щитовым приборам необходимо наблюдать за режимом работы генератора, время списания интеграла перегрузки определяется временем остывания генератора, которое принимается равным 20 мин.

Ограничение перегрузки представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Ограничение перегрузки

Кратность перегрузки	Время срабатывания ограничителя перегрузки, сек
1.1	3000
1.2	300
1.3	200
1.4	150
1.5	100
2.0	50

Алгоритм ограничения перегрузки.

Алгоритм перегрузки запускается в момент $I_{рот} \geq 1,1 I_{рот.ном.}$;

- при этом устанавливается признак «Перегрузка», запоминается текущее значение уставки РН (регулятор напряжения) и запускается расчет интеграла перегрузки, который сравнивается с постоянным числом МАХТ.

Если через некоторый момент времени перегрузка исчезла, а INTEG не достиг МАХТ, то сигнал «Перегрузка» снимается и запускается алгоритм списания накопленного значения интеграла до нуля. Если за тем до момента списания интеграла (ноль не достигнут), перегрузка появилась вновь – устанавливается сигнал «перегрузка» и процесс интегрирования продолжается с неспящего значения интеграла.

При достижении интегралом максимального значения $INTEG \geq МАХТ$, проходит сигнал «Ограничение режима» в системе возбуждения, с выходом в САУ ГА «Овадия».

Защита от перегрузки ротора (статора) ПР

В основу защиты положена зависимость времени перегрузки ротора (статора) от кратности тока (Таблица 2). При превышении допустимой

продолжительности перегрузки, производится выдача сигнала на отключение генераторного выключателя, автомата гашения поля АГП, а также загорается светодиод на лицевой панели блока контроллера с последующей записью в дневник событий и выдачей в САУ ГА.

Допустимая кратность перегрузки генераторов по току статора и ротора представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Допустимая кратность перегрузки генераторов по току ротора и статора

Продолжительность перегрузки, сек., не более (уставка защиты)	Кратность перегрузки
3600	1,1
360	1,2
240	1,3
180	1,4
120	1,5
60	2,0

При пропадании условия срабатывания любой защиты управляющее воздействие на выходе шкафа снимается, и защита возвращается в исходное состояние. Остается в работе сигнализация на выходе и лицевой панели шкафа до момента сброса с УНИПО.

Примером для составления технического требования на модернизацию системы возбуждения Саратовской ГЭС использовал опыт модернизации системы возбуждения Майнского гидроузла. Основные характеристики Майнского ГУ приведены в пункте 3.

3 Система возбуждения, установленная на Майнской ГЭС

3.1 Назначение

Система тиристорная самовозбуждения типа СТС-2П-510-2050-2,5 УХЛ4 (далее –СТС) должна быть предназначена для питания обмотки возбуждения гидрогенератора СТС должна обеспечивать следующие режимы работы гидрогенератора:

- начальное возбуждение;
- холостой ход, автоматическая подгонка напряжения генератора к напряжению сети;
- включение в сеть методом точной самосинхронизации;
- работа в энергосистеме с нагрузками и перегрузками, допустимыми для генератора;
- форсировка возбуждения с заданной кратностью по напряжению и току при нарушениях в энергосистеме, вызывающих снижение напряжения на шинах станции;
- развозбуждение при нарушениях в энергосистеме, вызывающих увеличение напряжения на шинах станции;
- гашение поля в нормальных и аварийных режимах;
- останов агрегата;

Климатическое исполнение СТС - УХЛ, категория размещения - 4.

3.2 Технические требования СТС

СТС должна быть выполнена по схеме самовозбуждения при питании двухканального тиристорного преобразователя от трансформатора, подключенного к статору гидрогенератора.

СТС должна быть выполнена с двумя автономными и равноценными преобразовательно - регулирующими каналами. Каждый канал должен содержать тиристорный преобразователь, цифровой автоматический регулятор возбуждения (АРВ) с системой импульсно - фазового управления. Любой из каналов должен быть способен обеспечить все режимы работы гидрогенератора, в том числе и режим форсировки возбуждения.

Один из каналов должен находиться в действии, другой, резервный - в состоянии готовности. В резервном канале импульсы управления должны быть заблокированы, двигатели вентиляторов выключены. В случае отказа работающего канала автоматически в работу должен вводиться резервный канал. Броски тока возбуждения при переключении каналов должны быть исключены благодаря автоматическому слежению.

Основные характеристики СТС приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные характеристики СТС

Наименование параметра	Величина
1. Выпрямленное номинальное напряжение, В	510
2. Выпрямленный номинальный ток, А	2050
3. Кратность форсировки возбуждения по напряжению, о.е.	2,5
4. Кратность форсировки возбуждения по току, о.е.	2,0
5. Длительность форсировки, с, не менее	50
6. Время нарастания напряжения возбуждения от номинального до максимального значения при уменьшении напряжения прямой последовательности в точке регулирования на 5% от номинального, мс, не более	20
7. Время развозбуждения от максимального положительного до наибольшего отрицательного напряжения возбуждения, мс, не более	30
8. Точность поддержания напряжения на шинах гидрогенератора относительно статической характеристики, %, не хуже	±0,5

Параметры трансформатора возбуждения приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры трансформатора

Наименование параметра	Характеристики
Исполнение	Трехфазный, сухой, для внутренней установки
Мощность (расчетная), кВА	2800
Напряжение сетевой обмотки (СО) U1, кВ	13,8
Напряжение вентильной обмотки (ВО) U2, В	900
Число фаз	3
Частота, Гц	50
Схема и группа соединения	Y/d-11
Охлаждение	Естественное воздушное

3.3 Тиристорный преобразователь

Тиристорный преобразователь каждого канала должен состоять из одного тиристорного моста выкатной конструкции, выполненного по трехфазной полностью управляемой схеме, при этом:

- количество тиристоров в плече моста - один;
- способ охлаждения моста - принудительное воздушное по разомкнутому циклу;
- количество вентиляторов в каждом канале – два (основной и резервный).
- защита тиристоров по току осуществляется специальными быстродействующими предохранителями;
- выполняется контроль максимальной температуры тиристоров;

- предохранитель должен быть снабжен блок-контактом, сигнализирующим о срабатывании предохранителя.

При отказе моста тиристорного преобразователя должен осуществляться автоматический переход на резервный тиристорный мост без ограничений режимов возбуждения гидрогенератора.

3.4 Система управления и регулирования

Система управления и регулирования должна состоять из двух идентичных и равноценных цифровых каналов регулирования, каждый из которых должен включать в себя автоматический регулятор возбуждения (АРВ) и систему импульсно - фазового управления. Нормально каналы должны работать как регуляторы напряжения статора генератора (автоматический режим). В случае необходимости, АРВ может быть переведен в режим регулятора тока возбуждения (ручной режим).

Каждый канал должен быть оснащен собственной автономной системой электропитания, работающей как от собственных нужд питания трехфазным переменным током напряжением 380В, так и от стационарной аккумуляторной батареи напряжением 220В.

Активным может быть любой канал. Резервный канал должен работать во всех режимах как следящий для обеспечения плавного перехода при переключении каналов.

АРВ, находящийся в резерве, должен контролировать исправность активного регулятора. При этом каждый регулятор должен выполнять программу самотестирования. Обмен информацией между регуляторами должен осуществляться по CAN - интерфейсу и посредством дискретных сигналов.

Переключение на резервный канал должно производиться автоматически – при отказе рабочего канала либо вручную – по командам оператора. Разрешением ручного переключения является выходной сигнал готовности, формируемый резервным АРВ.

При работе в режиме регулятора напряжения АРВ должен реализовывать пропорционально – интегрально – дифференциальный (ПИД) закон регулирования, при работе в режиме регулятора тока возбуждения АРВ должен реализовывать пропорционально интегральный (ПИ) закон.

В автоматическом регуляторе возбуждения должна быть предусмотрена возможность работы в схеме группового регулирования реактивной мощности.

В СУР должна быть предусмотрена возможность подключения ноутбука для осуществления настройки и считывания текущей конфигурации по месту с обеспечением поставки ноутбука с необходимым программным обеспечением и коммуникационным оборудованием.

3.5 Пульт местного управления

Система управления, регулирования и сигнализации должна быть оснащена пультом местного управления с панельным компьютером и сенсорным дисплеем.

Панельный компьютер, совместно с АРВ, должен выполнять следующие функции:

- наглядного отображения на дисплее текущей информации (включая отображение названий защит, уставок и параметров настройки в полном объеме, без сокращений) и хранения предыдущей (дневник событий, с архивом не менее одного месяца);
- хранения информации о действии внутренних защит системы возбуждения;
- осциллографирования в режиме реального времени (логгер) для сигналов U_f , (%); I_f , (%); U_g , (%); I_g , (%); P , (%); Q , (%). Длительность непрерывной записи не менее 5 дней;
- регистратора аварийных процессов.

Регистратор аварийных событий должен обеспечивать запись и хранение данных аналоговых и дискретных каналов. Предварительный объем регистрируемых сигналов: 16 дискретных каналов и 24 аналоговых канала. Окончательный объем регистрируемой информации и количество аналоговых и дискретных входов регистратора согласуется на этапе разработки проекта. Продолжительность записи предыстории - 5 с Продолжительность записи одного события - от 20 до 60 с Разрешающая способность регистратора аварийных событий не хуже 1 мс. Формат хранения данных - COMTRADE. Наличие карты энергонезависимой памяти для регистрации аварийных процессов с возможностью последующего извлечения и переноса для обработки информации.

Оперативное гашение поля при нормальном останове должно выполняться посредством перевода тиристорного выпрямителя в инверторный режим.

Гашение поля ротора в аварийных режимах при действии любых защит должно выполняться автоматом гашения поля с последующим переводом тиристорного преобразователя в инверторный режим. Автомат гашения поля должен иметь две независимые катушки отключения (100 % резерв) с независимыми цепями питания ≈ 220 В и 100% дублированием сигналов отключения АГП, в том числе и от защит.

Оба способа гашения должны быть выполнены взаимно независимыми.

4 Предложения на рынке

Времена, когда для работы синхронных машин независимо от их мощности использовались однотипные системы возбуждения, остаются в прошлом. Сегодня специалисты рекомендуют приобретать продукцию по принципу: для каждой синхронной машины – своя система возбуждения. Фактически «на заказ».

Линейка синхронных электродвигателей очень широкая. Каждый из них отличается от других. Следовательно, источник обеспечивающий его работу, должен соответствовать. Поэтому для поддержания максимально эффективной, надежной и отлаженной работы необходимо покупать готовое решение с гарантией и сервисом у экспертов.

На рынке представлены множество производителей, как отечественных, так и зарубежных. Оборудование каждой компании имеет свои достоинства и недостатки.

4.1 Компания АВВ

Очень ярким примером может послужить шведская и швейцарская технологично-международная многонациональная корпорация АВВ (Asea Brown Boveri) специализирующаяся в области электротехники, энергетического машиностроения и информационных технологий. Компания была основана в 1988 году и на сегодняшний день является одним из лидеров на рынке энергетического машиностроения. Оборудование компании АВВ применяется по всему миру. Возьмем для примера Систему возбуждения для синхронных машин средней и большой мощности - UNITROL 5000.

UNITROL 5000 - самая совершенная разработка в серии систем возбуждения UNITROL производимых АВВ Switzerland Ltd. Система имеет микропроцессорное управление и реализует достижения новейших технологий. Примененные решения основаны на почти 40-летнем опыте АВВ в разработке регуляторов напряжения и более чем 15 летнем опыте создания систем возбуждения с микропроцессорным управлением.

Область применения

Статические системы возбуждения для систем с частотой 50 Гц, 60 Гц и токами возбуждения от 1000 А до 10000 А.

Автоматические регуляторы напряжения со специальными функциями для электромашинных возбудителей.

Характеристики системы управления

Двухканальная система управления имеет возможность установки дополнительных модулей ручного управления в каждом канале.

Дополнительные входы и выходы:

- Возможность установки дополнительных плат ввода/вывода, подключаемых к системе управления, и имеющих как дискретные, так и аналоговые, входы и выходы;
- Буфер сообщения об ошибках;
- Запись сообщений с отметкой времени;
- Возможность удаленного доступа к буферу.

Резервирование силовой части

- Возможно параллельное включение до восьми тиристорных выпрямителей;
- Схема резервирования силовой части может выбираться независимо от схемы резервирования системы управления;
- Усовершенствованный модуль управления тиристорным выпрямителем.
- Система активного распределения токов между параллельно включенными тиристорными выпрямителями;
- Четырехквadrантное управление преобразователем – возможность получения тока возбуждения отрицательной полярности;
- Контроль протекания токов через тиристоры;
- Контроль работы вентиляторов охлаждения;
- Контроль состояния предохранителей тиристоров, контроль температуры и потока охлаждающего воздуха в секциях тиристорных выпрямителей;
- На каждом из тиристорных выпрямителей установлен дисплей, на который выводится значения тока в выпрямителе.

Система возбуждения поддерживает большинство распространенных протоколов обмена данными. Возможна установка дополнительной панели управления системой возбуждения на щите управления. Допустимая длина линий связи – несколько сотен метров.

Конструкция системы возбуждения UNITROL 5000 выполнена по модульному принципу. Более 80% возможных конфигурации могут быть созданы на основе модулей, прошедших типовые испытания. Принятый подход обеспечивает высокое качество готового изделия и позволяет сократить продолжительность производственного цикла. Силовая секция состоит из одного или нескольких тиристорных выпрямителей, автомата гашения поля, установленного либо на стороне переменного, либо постоянного тока, цепи начального возбуждения и схемы гашения поля на основе тиристорного разрядника.

Для повышения надежности, наряду с использованием автоматического регулятора напряжения и регулятора тока возбуждения в режиме ручного управления, в системах возбуждения UNITROL 5000 предусматривается возможность установки дополнительных модулей ручного управления, то есть аппаратнонезависимых устройств с собственным блоком питания, цепями измерения входных сигналов и блоком формирования импульсов управления на

тиристоры. Использование функции слежения по выходу для всех активных регуляторов обеспечивает безударное переключение системы с вышедшего из строя регулятора на резервный.

Высокопроизводительные и надежные тиристорные выпрямители

В системах возбуждения UNITROL 5000 используются силовые тиристорные выпрямители типов DCS500, UNL13300 и Verithyr P1. Тип и количество устанавливаемых выпрямительных мостов определяется значением тока возбуждения, напряжением форсировки и рабочим циклом системы.

Возможными опциями являются:

- Естественное или принудительное воздушное охлаждение;
- Резервированные вентиляторы при принудительном воздушном охлаждении;
- Установка пятиполюсных разъединителей, что позволяет проводить обслуживание одного из тиристорных выпрямителей без вывода системы возбуждения из работы;
- Распределение тока при параллельном включении тиристорных выпрямителей.

Впервые в системах возбуждения применяется новая разработка компании АВВ позволяющая добиться управляемого распределения токов между параллельно включенными тиристорными выпрямителями, находящимися в работе. Использование системы распределения токов позволяет предотвратить перегрузку отдельных тиристорных выпрямителей из-за несимметричного распределения токов и существенно снизить вероятность выхода тиристорных выпрямителей из строя.

Структурированное программное обеспечение системы управления обеспечивает подавляющее большинство функции управления, защиты и контроля, необходимых для надежного функционирования системы возбуждения и подробной регистрации событий с целью проведения диагностики и сервиса.

Все стандартные алгоритмы и блокировки запрограммированы с помощью функциональных блоков. Стандартные функции могут быть дополнены пользовательскими функциями, запрограммированными с помощью специальных блоков.

Система возбуждения UNITROL 5000 имеет буфер событий, позволяющий сохранять до 100 сообщений сигнализации с отметками времени. Записанные сообщения могут быть просмотрены с помощью панели управления или с помощью программы CMT Tool.

Буфер данных позволяет записывать в реальном времени до 6 различных сигналов, измеряемых в системе возбуждения. Записанные сигналы могут быть просмотрены в виде графиков с помощью CMT Tool.

Контроль исправности микропроцессора

При включении питания выполняется процедура контроля исправности микропроцессора и проверяются уровни напряжения питания.

Контроль выполнения рабочей программы

Плата управления имеет встроенную функцию сторожевого таймера, которая позволяет контролировать правильность выполнения рабочей программы.

Функциональные возможности системы возбуждения могут быть расширены как путем адаптации стандартного программного обеспечения в соответствии с требованиями заказчика, так и путем использования дополнительных функций программного обеспечения.

В настоящее время простота выполнения пуско-наладочных работ и удобство эксплуатации системы так же важны, как и простота интеграции в существующую структуру АСУ ТП.

Итог

Как мы видим компания АВВ создала очень качественную и современную систему возбуждения. Технические параметры и программное обеспечение соответствует всем требованиям. Благодаря модульному принципу исполнения, производство значительно упрощается и требует меньше времени.

Однако есть и определенные недостатки. Основным является высокая стоимость. Качественное оборудование просто не может стоить дешево. В среднем цена превышает стоимость отечественных аналогов практически на половину. К тому же политика государства с 2014 года направлена на импортозамещение, после введения взаимных санкций России и стран Запада. А «РусГидро» все таки, государственная компания, где за государством закреплён большой пакет акций. Таким образом мы отсеиваем этот вариант и рассматриваем оборудование российского производства.

4.2 НПО ПАО «ЭЛСИБ»

Научно-производственное объединение Публичное Акционерное Общество «ЭЛСИБ» - одно из крупнейших за Уралом энергомашиностроительных предприятий, расположенное на территории Сибири в городе Новосибирске. Предприятие имеет мощную производственную и испытательную базу с современными сертифицированными стендами для контроля и испытания в процессе изготовления отдельных узлов и готового изделия.

Специализируется на проектировании и изготовлении генераторов в комплекте с системами возбуждения, крупных электрических машин для ТЭЦ, ТЭС, ГРЭС, ГЭС и АЭС. Так же оказывает услуги в сфере капитального ремонта и послепродажного сервиса.

Произведенные компанией ЭЛСИБ турбогенераторы представляют около 33% от установленной мощности в России, а гидрогенераторов – 30 %.

При проектировании конструкторскими отделами успешно применяются методики трехмерного проектирования в системе T-FLEX CAD 3D: разрабатываются как отдельные детали с ассоциативными чертежами, так и

крупные сборочные чертежи. Это позволяет наиболее точно и детально спроектировать любую конструкцию.

Системы возбуждения

В 1961 году на заводе разработали первую систему возбуждения для нескольких гидрогенераторов. А 1968 – применили знания для возбудителя турбогенератора ТВМ-300.

Современные системы возбуждения соответствуют последним требованиям:

- выполнены на современной элементной базе, имеют резервирование управляющих регуляторов и силовых преобразовательных каналов;
- обладают максимальной функциональностью и набором необходимых защит;
- обеспечивают все режимы работы генератора, его безаварийного подключения и отключения от энергосистемы;
- используют усовершенствованный алгоритм управления возбуждением генераторов, подключенных к распределенной энергосистеме.

Стандартный комплект поставки системы возбуждения включает в себя:

- трансформатор возбуждения – 1 штука
- шкаф тиристорного преобразователя - 2 штука
- шкаф управления, регулирования и защиты - 1 штука
- силовой шкаф системы возбуждения – 1 штука
- блок резисторов самосинхронизации - 1 штука
- групповой ЗИП на систему возбуждения

Основные технические данные выпускаемых СТС

Параметры выпускаемых систем возбуждения приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Параметры систем возбуждения

Наименование параметра	Характеристики
Номинальное напряжение возбуждения	200 – 350 В
Номинальный ток возбуждения	1000 – 2100 А
Кратность форсировки по напряжению возбуждения	2,5
Кратность форсировки по току возбуждения	2
Быстродействие при форсировки	0,025с
Длительность форсировки максимальная	20с
Полное время расфорсировки, не более	0,03с
Частота напряжения питания	50 Гц
Наработка на отказ, не менее	27 000 час
Полный срок службы, не менее	30 лет
Охлаждение тиристоров	воздушное, принудительное

Структурная схема СТС

Схема СТС представлена на рисунке 2.

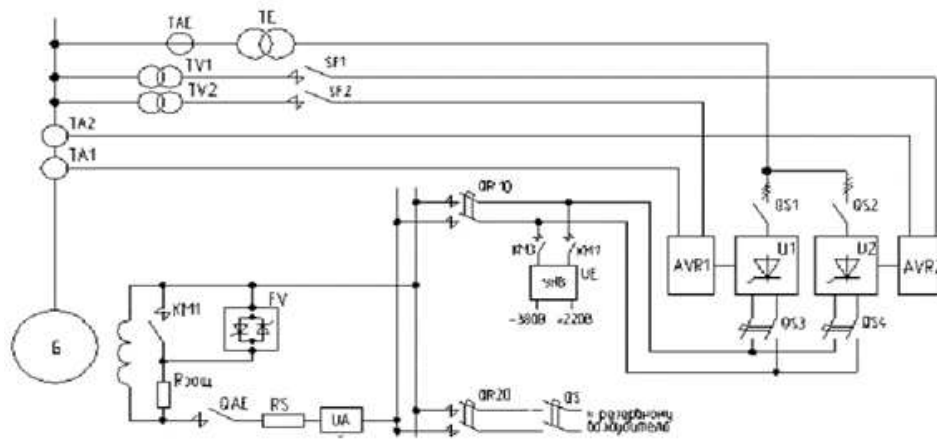


Рисунок 2 - Структурная схема СТС

Конструктивные особенности СТС:

Выполняется по одногрупповой схеме. Имеют стопроцентное резервирование – два идентичных преобразовательно-регулирующих канала.

В работе находится один из преобразовательно-регулирующих каналов, а другой в горячем резерве со снятыми импульсами управления тиристоров. При возникновении неисправностей в работающем канале производится автоматический ввод в работу резервного канала. При наличии запрета на ввод в работу резервного канала осуществляется разгрузка по реактивной мощности или автоматическое гашение поля генератора (в зависимости от типа неисправности).

Автоматический регулятор возбуждения (АРВ)

АРВ обоих каналов функционально и физически независимы, получают информацию от отдельных трансформаторов напряжения и тока, реализовывают пропорционально-интегрально-дифференциальный закон (ПИД) регулирования напряжения генератора. Для улучшения демпфирования колебаний в энергосистеме имеются каналы стабилизации.

АРВ обеспечивает:

- поддержание действующего значения напряжения в заданной точке регулирования на шинах генератора или станции в соответствии с заданными уставкой и статизмом в нормальных режимах работы генератора;
- форсирование возбуждения и развозбуждение в пределах, определяемых возбудителем; устойчивую работу на холостом ходу;
- регулирования и поддержания напряжения генератора в режимах пуска, включения в сеть методами точной синхронизации и самосинхронизации, а также при останове машины;
- демпфирования колебаний в переходных режимах; релейную форсировку и снятие релейной форсировки возбуждения.

Основные преимущества систем возбуждения НПО «ЭЛСИБ»

- Применен двухканальный шкаф управления и регулирования ШУРЗ
- Уменьшены габариты щита возбуждения;

- Заменена коммутационная аппаратура: реле, контакторы и автоматические выключатели, на современную коммутационную аппаратуру;
- Откорректированы алгоритмы регулирования и Программное обеспечение в соответствии с требованиями ОАО «СО ЕЭС» СТО 59012820.29.160.20.001-2012 «Требования к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов» с последующими испытаниями АРВ на электродинамической модели ОАО «НТЦ Единой энергетической системы»;
- Наличие уникального микропроцессорного автоматического регулятора, обеспечивающего реализацию алгоритмов устойчивого регулирования напряжения генератора во всех эксплуатационных режимах с заданной точностью в пределах диаграммы мощности генераторов;
- Программное обеспечение собственной разработки;
- Современная универсальная элементная база;
- Необходимые номинальные параметры под любые технические требования;
- Оптимальный выбор компонентов силовой электроники;
- Набор необходимых защит и блокировок, в том числе от некорректных действий персонала;
- Простота конструкции и ремонтпригодность;

Подробные параметры Систем возбуждения, устанавливаемых компанией ЭЛСИБ представлены в Референц-листе в приложении 1.

Итог

Достоинства систем возбуждения, производимых компанией ЭЛСИБ нельзя отрицать. Оборудование качественное, имеет своего потребителя и востребовано на рынке. Производитель заявляет, что может произвести оборудование любой сложности и мощности. Но по данным, представленным на сайте можно заключить, что в большинстве своем гидрогенераторы и вспомогательное оборудование для гидроэнергетики у компании ориентированы на Малые ГЭС. Были и крупные проекты. Такие как на Новосибирской ГЭС, Цимлянской ГЭС, но это скорее исключение.

Рассмотрим еще одного представителя рынка.

4.3 Концерн Силовые машины

Сегодня концерн «Силовые машины» – ведущий российский производитель и поставщик оборудования для гидроэлектростанций.

Основой для построения концерна стали признанные лидеры российского энергетического машиностроения – предприятия, имеющие более чем вековой опыт деятельности: Ленинградский Металлический завод, «Электросила», Завод турбинных лопаток, Научно-производственное объединение по исследованию и

проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова, Калужский турбинный завод и сбытовая компания «Энергомашэкспорт».

Конструктивное объединение этих традиционных партнеров в рамках единой компании позволяет осуществлять весь спектр услуг любой сложности – от диагностики и испытаний энергетического оборудования, поставок его компонентов и технического обслуживания до разработок решений по продлению ресурса и увеличению потенциала оборудования потребителя.

Все турбо- и гидрогенераторы, изготавливаемые филиалом ОАО «Силовые машины» – «Электросила», оснащаются современными полупроводниковыми системами возбуждения.

Системы возбуждения обеспечивают следующие режимы работы синхронных генераторов:

- начальное возбуждение;
- холостой ход;
- включение в сеть методом точной синхронизации или самосинхронизации;
- работу в энергосистеме с нагрузками и перегрузками, допустимыми для генератора;
- форсировку возбуждения с заданной кратностью по напряжению и по току;
- разгрузку по реактивной мощности до значения $\cos\varphi=1$;
- развозбуждение при нарушениях в энергосистеме;
- гашение поля генератора в аварийных режимах и при нормальной остановке;
- электрическое торможение агрегата.

Системы тиристорные самовозбуждения (СТС)

СТС предназначены для питания обмоток возбуждения турбо- и гидрогенераторов выпрямленным регулируемым током. Питание тиристорного выпрямителя осуществляется через трансформатор (ТЭ), подключенный к главным выводам генератора. Для запуска генератора предусмотрена цепь начального возбуждения (УЕ), которая автоматически формирует кратковременный импульс напряжения на обмотке ротора до появления ЭДС обмотки статора генератора, достаточной для поддержания устойчивой работы тиристорного преобразователя в цепи самовозбуждения. Питание цепей начального возбуждения осуществляется как от стационарной аккумуляторной батареи, так и от источника переменного тока собственных нужд электростанции.

Высокие быстродействие и предельные уровни напряжения и тока возбуждения в сочетании с эффективными законами управления, ограничения параметров и стабилизации обеспечивают высокое качество регулирования и большие запасы устойчивости энергосистем.

Интенсивное гашение поля генераторов в нормальных условиях эксплуатации достигается за счет перевода тиристорного преобразователя в инверторный режим изменением полярности напряжения возбуждения.

Продолжение таблицы 8

Характеристика	Значение
Кратность форсировки по току, о.е.	2
Длительность форсировки, с	20...50
Время нарастания напряжения возбуждения до максимального значения при уменьшении напряжения прямой последовательности в точке регулирования на 5% от номинального, мс	не более 25
Время развозбуждения от максимального положительного до минимального отрицательного напряжения возбуждения, мс	не более 30
Точность поддержания напряжения на шинах генератора относительно статической характеристики, %	не хуже $\pm 0,5\%$
Система охлаждения тиристорного выпрямителя	принудительная воздушная; естественная воздушная; водяная

Силовая преобразовательная техника

Силовые полупроводниковые преобразователи как элементы, определяющие технический уровень систем возбуждения в целом, находятся в постоянном инновационном развитии. Совершенствование систем осуществляется за счет внедрения более эффективных средств охлаждения, защиты, мониторинга и управления тиристорov. За последние двадцать лет были созданы четыре поколения тиристорных преобразователей.

Стопроцентный входной контроль тиристорov, тщательное тестирование тиристорных выпрямителей в нормальных и перегрузочных режимах на заводских стендах обеспечивают высокое качество и надежность преобразователей нашего производства:

- унифицированная мостовая конструкция позволяет путем параллельного соединения мостов получать требуемую мощность выпрямителя;
- выпрямитель может быть изготовлен с любым видом охлаждения (см. таблицу «Типы силовых выпрямительных мостов» на следующей странице);
- для защиты преобразователей от внутренних коротких замыканий последовательно с каждым тиристором устанавливается быстродействующий плавкий предохранитель;
- защита от коммутационных перенапряжений выполняется при помощи индивидуальных RC-цепей, подключенных параллельно каждому тиристору, а также мощных групповых RC-цепей на входных шинах переменного тока;

- быстродействующий тиристорный разрядник, главное назначение которого – защита обмотки ротора от перенапряжений, является также устройством защиты тиристорного преобразователя от перенапряжений на стороне постоянного тока;
- равномерное распределение токов параллельно работающим тиристорам достигается применением индуктивных делителей тока или за счет специальной компоновки токоведущих шин;
- автоматическое распределение токов параллельно работающим тиристорам обеспечивается специальным микропроцессорным многоканальным устройством;
- гальваническое разделение формирователей управляющих импульсов и управляющего электрода тиристора осуществляется при помощи специальных импульсных трансформаторов со стопроцентным резервированием и электрической прочностью изоляции более 10 кВ;
- преобразователи оснащены электрическими, механическими и температурными датчиками, сигналы которых используются для автоматического контроля исправности тиристоров, предохранителей, РС-цепей, системы охлаждения и управления тиристоров.

По желанию заказчика тиристорный выпрямитель системы возбуждения может быть выполнен со стопроцентным резервированием по двухканальному принципу. При этом активный преобразовательный канал находится в работе, второй – в горячем резерве.

Система защит

В системах возбуждения предусмотрены следующие защиты:

- цепей ротора от замыкания на землю (снижения изоляции);
- цепей ротора от перенапряжений посредством тиристорного разрядника;
- при пробое диодов вращающегося выпрямителя бесщеточных систем;
- от перегрузки обмотки ротора (интегральная характеристика);
- от недопустимой длительности форсировки;
- от короткого замыкания на шинах постоянного тока;
- при неуспешном инвертировании возбуждения;
- максимальная токовая выпрямительного трансформатора;
- токовая отсечка выпрямительного трансформатора;
- дифференциальная защита выпрямительного трансформатора;
- от превышения допустимой температуры выпрямительного трансформатора;
- от повышения напряжения генератора на холостом ходу;
- от перевозбуждения генератора;
- от потери возбуждения генератора
- от асинхронного хода генератора;
- от понижения частоты на холостом ходу и др.

Большая их часть реализована в двухканальном микропроцессорном устройстве типа МУЗА, выполненном на аналогичной автоматическому регулятору возбуждения программно-аппаратной основе.

Автоматы гашения поля

Автоматы гашения поля предназначены для коммутации цепей обмоток возбуждения турбо- и гидрогенераторов, а также для гашения поля этих машин.

Оптимальные условия для интенсивного снижения тока ротора до нулевого значения обеспечиваются при разряде обмотки возбуждения на нелинейный резистор, сопротивление которого изменяется обратно пропорционально величине тока.

Благодаря специальной конструкции кольцевой дугогасительной решетки автомата гашения поля, горящая в ней дуга обладает вольт-амперной характеристикой нелинейного резистора, обеспечивающей минимальное время гашения поля и безопасный уровень напряжения на кольцах ротора.

Параметры АГП приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Параметры АГП

Тип выключа теля	Номин. ток главной цепи, А	Номинальное напряжение главной цепи, В	Габаритные размеры			Масса, кг
			высота	ширина	глубина	
АГП 12	1250	660	730	420	239	50
АГП 16	1600		940	512	313	140
АГП 30	3200		940	630	313	150
АГП 40	4000		1063	820	405	288
АГП 60	6300		1063	820	405	300
АГП 60- 62	4400		1400	820	405	550

Системы управления и регулирования

Современные системы автоматического управления и регулирования возбуждения – это цифровые комплексы, основанные на высокопроизводительных быстродействующих микроконтроллерах.

Главным элементом этих систем является цифровой автоматический регулятор возбуждения (АРВ). Его основное назначение – реализация алгоритмов устойчивого регулирования напряжения энергетических машин во всех эксплуатационных режимах с заданной точностью в пределах диаграммы мощности генераторов.

Базовые функции АРВ:

- регулирование напряжения генератора в автоматическом режиме по ПИД-закону с заданной точностью и статизмом;
- ПИ-регулирование тока ротора в ручном режиме;
- ограничение токов ротора и статора генератора как по величине, так и по допустимому времени перегрузки;

- ограничение минимального возбуждения генератора по условиям устойчивости, а также с целью предотвращения перегрева его торцевой зоны при недовозбуждении;
- поддержание допустимого для блочного трансформатора соотношения напряжение/частота (В/Гц);
- регулирование коэффициента мощности или реактивной мощности;
- импульсно-фазовое управление тиристорным преобразователем;
- осуществление мягкого старта и включения генератора в сеть методами точной синхронизации и самосинхронизации;
- реализация алгоритма начального возбуждения и контроля в процессе начального возбуждения;
- реализация алгоритма безударного перехода с основного канала регулирования на резервный;

Регуляторы возбуждения могут быть оснащены стабилизаторами различных типов:

- системным стабилизатором, формирующим сигналы стабилизации как сумму сигналов изменения частоты, производной частоты и производной тока ротора;
- стабилизаторами на основе структур, использующих в качестве входных сигналов частоту и электрическую мощность.

Регуляторы возбуждения могут поставляться в следующих конфигурациях:

- один модуль регулирования, выполняющий функцию автоматического регулирования напряжения и функцию ручного регулирования тока ротора;
- два модуля регулирования, основной и резервный, каждый из которых выполняет функцию автоматического регулирования напряжения и функцию ручного регулирования тока ротора;
- два модуля регулирования, один из которых (основной) выполняет функцию автоматического регулирования напряжения, другой (резервный) – функцию регулирования тока ротора.

Автоматическое слежение обеспечивает безударное переключение как между модулями регулирования, так и между автоматическим и ручным регуляторами.

Дополнительные функции системы управления и регулирования:

- прием и передача дискретных и аналоговых сигналов систем автоматизации электростанции;
- мониторинг тиристорного преобразователя и его компонентов;
- контроль температуры обмотки ротора (только для статических систем);
- контроль исправности выпрямительного трансформатора или возбудителя;
- местное управление возбуждением;

- наглядное отображение на дисплее текущей информации о состоянии системы возбуждения и хранение информации о неисправностях;
- модификация параметров регулирования и мониторинга.

Обеспечение интерфейса с оператором и системой управления высшего уровня посредством последовательного канала, поддерживающего различные протоколы.

Концепция конструирования

Концепция конструирования щитов систем возбуждения основана на унификации конструкции с использованием отработанных унифицированных секций, модулей и блоков, что позволяет осуществить любое исполнение щитов, удовлетворяющее требованиям заказчика.

Преимущества систем возбуждения производства концерна Силовые машины

1) Максимальная безопасность обслуживающего персонала и оборудования, которая обеспечивается комплексом специальных конструктивных мероприятий:

- наличием не менее двух ступеней изоляции между элементами оборудования с разными потенциалами;
- созданием защитных диэлектрических барьеров, препятствующих возникновению дуги и распространению пожара в аварийных ситуациях;
- организацией необходимых воздушных зазоров;
- установкой защитного заземления;
- обоснованным выбором конструкционных материалов и т.д.;
- модификацией параметров регулирования и мониторинга.

2) Удобство обслуживания щитов возбуждения достигается сочетанием блочно-модульной конструкции, обеспечивающей удобный доступ к любому элементу щита, с рациональным расположением органов управления, сигнализации, приборов и контрольных точек. В секции управления и регулирования кассеты с печатными платами размещены на поворотной раме, что делает удобным доступ к разъемам на задней стороне кассет, а также к трансформаторам, клеммникам и другому оборудованию, расположенному за поворотной рамой. В секции тиристорной блоки, содержащие тиристор, предохранитель и другие элементы, легко отсоединяются с помощью обычного инструмента и могут быть изъяты для осмотра и ремонта. Большинство стандартных работ, связанных с заменой элементов блока (тиристора, предохранителя), не требуют его существенной разборки и выполняются за минимально короткий срок. Этот же принцип воплощен и в конструкции секции силовой. Одновременно конструкция щита возбуждения имеет набор необходимых защиты блокировок от некорректных действий персонала.

3) Высокая степень заводской готовности осуществляется благодаря выполнению всех электрических соединений между секциями внутри щита. Каждая секция является отдельным транспортным модулем, что значительно упрощает монтаж системы возбуждения на объекте. При монтаже щита достаточно установить секции в ряд, стянуть между собой шпильками,

соединить шины секции силовой и секции тиристорной с помощью перемычек и подключить разъемы межсекционных кабелей управления. Все элементы монтажа – шпильки, шинные перемычки и межсекционные кабели управления входят в комплект поставки и проходят проверку при контрольной сборке щита и испытаниях перед отгрузкой. В объем монтажных работ входит также установка кассет с печатными платами и силовых тиристорных блоков, которые транспортируются в отдельных ящиках для обеспечения лучшей сохранности. Любая операция при монтаже выполняется с помощью стандартного слесарного инструмента. Никакого дополнительного крепежа, подгонки, прокладки и пайки проводов не требуется.

4) Разнообразие конструктивных исполнений по желанию заказчика – это возможность легкой трансформации унифицированных секций, что позволяет в любых сочетаниях получать следующие исполнения оборудования:

- одностороннее или двухстороннее обслуживание;
- различные сочетания подвода шин (кабелей) постоянного и переменного тока (стандартная подводка – шины переменного тока сверху, постоянного – снизу);
- установка воздушных фильтров, противоконденсатное оборудование, внутреннее освещение, дополнительные розетки, карманы для документации и др.;
- различные климатические исполнения;
- степень защищенности до IP55;
- дополнительные секции специального назначения – секции ввода резервного возбуждения, секции электроторможения и т.п.;
- любой вид охлаждения тиристоров.

5) Испытания головных образцов систем возбуждения производятся на оборудовании лучших фирм мира. В частности, на оборудовании швейцарской фирмы Naefely проводятся испытания, связанные с ограничением эмиссии и обеспечением устойчивости к электромагнитным помехам в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» и Техническим регламентом «Об электромагнитной совместимости». Периодически проводятся испытания автоматических регуляторов возбуждения на крупнейшей в мире электродинамической модели ОАО «НИИПТ», являющейся испытательным полигоном РАО «ЕЭС России», что способствует повышению надежности функционирования энергообъектов и уменьшению объема и времени пусконаладочных работ на электростанциях. Проверка регуляторов осуществляется в широком диапазоне схемно-режимных условий работы конкретной станции, при нормативных и расчетных аварийных возмущениях, в том числе с учетом действия систем противоаварийной автоматики, включая и имевшие место реальные системные аварии.

б) Улучшенный дизайн щитов с учетом европейского стандарта эргономических характеристик достигается использованием современных конструктивных материалов. Принятый цвет окраски щитов RAL 7032 (светло-серый) создает отличную контрастную видимость приборов и сигнализации.

Простота компоновки секций и четкая маркировка облегчает идентификацию узлов и их техническое обслуживание. Все секции выполняются в единой архитектуре, в результате чего щит возбуждения имеет стилистически законченный вид, которому присущ свой фирменный стиль.

Служба сервиса ОАО «Силовые машины» выполняет:

- наладку и испытания систем возбуждения на электростанциях;
- гарантийное и послегарантийное их обслуживание;
- модернизацию и ремонт систем возбуждения всех типов;
- поставку запасных частей;
- обучение обслуживающего персонала электростанций и энергосистем;
- экспертизу технического состояния оборудования;
- технические консультации по выбору силового оборудования, систем управления;
- регулирования и защит.

Итог

Многочисленно принято решение рассматривать для модернизации Системы возбуждения на Саратовской ГЭС оборудование производства компании «Электросила», концерна Силовые машины.

Причин несколько:

- 1) Силовые машины - один из крупнейших российских производителей оборудования для гидроэлектростанций;
- 2) Технические параметры оборудования, представленные в прайс листе производителя, полностью удовлетворяют требованиям расчетов;
- 3) Высокая степень заводской готовности и модульность производства позволят выполнить изготовление и произвести монтаж в короткие сроки;
- 4) Представители «Силовых машин» фирмы присутствуют на Саратовской ГЭС, они знакомы с особенностями нашей станции;
- 5) Наладка и монтаж оборудования производится специалистами концерна Силовые машины от начала и до конца.
- 6) Коммерческое предложение самое выгодное на рынке.

5 Выбор оборудования

Выбор оборудования и технические требования составлены по опыту модернизации Майнского гидроузла.

5.1 Особые условия проведения работ

Работы выполняются

- вблизи электроустановок под напряжением выше 1000 В;
- в стесненных условиях;
- вблизи работающего технологического оборудования;
- без остановки технологического процесса.

5.2 Предлагаемая система возбуждения

Маркировка системы возбуждения представлена в таблице 10.

Таблица 10 – Маркировка системы возбуждения

Маркировка системы возбуждения СТС-425-2970-2,5 УХЛ4:	
СТС	Статическая тиристорная система возбуждения
425	Выпрямленное номинальное напряжение системы возбуждения, В
2970	Выпрямленный номинальный ток системы возбуждения, А
2,5	Кратность форсировки возбуждения по напряжению, о.е.
УХЛ4	Климатическое исполнение и категория размещения

Система возбуждения имеет 100% резервирование тиристорного преобразователя и естественное воздушное охлаждение.

5.3 Основные характеристики проектируемой системы возбуждения

Характеристики проектируемой СВ представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Характеристики проектируемой СВ

Тип СТС-425-2970-2,5 УХЛ4	
Изготовитель – ОАО «Силовые машины» - «ЭЛЕКТРОСИЛА»	
Наименование	Значение
Номинальное напряжение ротора генератора, В	387
Выпрямленное номинальное напряжение, В	425
Номинальный ток ротора генератора, А	2700
Выпрямленный номинальный ток, А	2970
Кратность форсировки возбуждения по напряжению, о.е.	2,5
Кратность форсировки возбуждения по току, о.е	2,0

Продолжение таблицы 11

Наименование	Значение
Длительность форсировки, s, не менее	50
Время нарастания напряжения возбуждения от номинального до максимального значения при уменьшении напряжения прямой последовательности в точке регулирования на 5% от номинального, ms, не более	25
Время развозбуждения от максимального положительного до наибольшего отрицательного напряжения возбуждения, ms, не более	30
Полное время расфорсировки, ms, не более	150
Точность поддержания напряжения на шинах гидрогенератора относительно статической характеристики, %, не хуже	±0,5

5.4 Основные характеристики проектируемого выпрямительного трансформатора

Характеристики выпрямительного трансформатора представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Характеристики выпрямительного трансформатора

Тип ТСЗП-4000/15 В УХЛ4	
Наименование	Значение
Исполнение - трехфазный, сухой, для внутренней установки	-
Мощность (расчетная), kVA	3600(2300)
Напряжение сетевой обмотки (СО) U1, kV	10,5
Напряжение вентильной обмотки (ВО) U2, V	770
Схема и группа соединения	Y/Δ-11
Класс перегрузок	7 (200% номинального значения тока возбуждения, продолжительность 50 с)
Охлаждение	Естественное, воздушное

5.5 Общие технические требования к тиристорному преобразователю

Основные характеристики:

- Тиристорный преобразователь состоит из двух единичных трехфазных мостов, соединенных параллельно по постоянному и переменному току, и имеет 100% резервирование.
- В каждом плече установлены быстродействующие силовые предохранители для защиты от внутренних коротких замыканий.

Предусмотрены внешние РС – цепи, включенные между фазными шинами переменного тока для защиты от коммутационных перенапряжений.

- На сторонах постоянного и переменного тока каждого из тиристорных мостов установлены разъединители.

Основные параметры ТП представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Основные параметры тиристорного преобразователя

Параметр	Значение
Число параллельных тиристоров в плече, шт	1
Номинальный постоянный выходной ток каждого моста, А	2970
Номинальная частота напряжения питающей сети	50
Напряжения питающей сети переменного тока, линейное, Гц	770
Постоянный выходной ток каждого моста в режиме перегрузки длительностью не более 50 с из состояния предварительной нагрузки номинальным током, А	5400
Верхнее рабочее значение температуры окружающего воздуха, °С	45

Шкафы разъединителей СВ устанавливаются на всех Системах ТСВ гидроагрегатов ст.№№1-21 и предназначен для проведения ремонтных работ, на агрегате для создания видимого разрыва в цепи возбуждения генератора.

Автоматический регулятор возбуждения (АРВ) имеет сертификат на соответствие стандарта АО «СО ЕЭС» СТО 59012820.29.160.20.001-2012. Два идентичных и равноценных цифровых канала, каждый из которых включает в себя автоматический регулятор возбуждения и систему импульсно-фазового управления. Нормально каналы работают как регуляторы напряжения в автоматическом режиме. В АРВ встроен ручной регулятор возбуждения. Автоматический регулятор возбуждения реализовывает ПИД закон регулирования, ручной регулятор тока реализовывает ПИ закон регулирования. Резервирование тиристорного преобразователя, состоящего из двух тиристорных мостов, составляет 100%. При отказе работающего моста осуществляется автоматический безударный переход на резервный тиристорный мост без ограничений режимов возбуждения генератора.

5.6 Функции системы возбуждения

Система возбуждения СТС-425-2970-2,5 УХЛ4 обеспечивает все эксплуатационные режимы работы гидрогенератора:

- Начальное возбуждение от собственных нужд и от системы постоянного тока
- станции с автоматическим выбором источника напряжения и индикацией источника;

- Автоматическое уравнивание напряжения генератора с напряжением сети перед включением генератора в сеть методом точной синхронизации;
- Включение в сеть методом точной автоматической и ручной синхронизации в нормальном режиме энергосистемы;
- Включение в сеть методом самосинхронизации (при ликвидации аварийных режимов в системе);
- Устойчивую работу генератора на холостом ходу;
- Работу в энергосистеме с нагрузками и перегрузками;
- Форсировку возбуждения с заданной кратностью по напряжению и току при нарушениях в энергосистеме, вызывающих снижение напряжения на шинах станции.
- Требуемые кратности форсировки по току – не менее 2.0, по напряжению – не менее 2.5;
- Развозбуждение при нарушениях в энергосистеме, вызывающих увеличение
 - напряжения на шинах станции;
 - Устойчивую работу в переходных и аварийных режимах;
 - Работу в режиме недовозбуждения, допускаемую генератором;
 - Ограничение потребляемой реактивной мощности устройством ограничения
 - минимального возбуждения (далее ОМВ) при повышении напряжения в энергосистеме, уменьшении тока ротора и перехода генератора в режим недовозбуждения с выходом за границы, допускаемые характеристикой генератора;
 - Ограничение перегрузки по току ротора;
 - Ограничение перегрузки по току статора;
 - Ограничение максимального тока ротора;
- Автоматическое и ручное управление системой возбуждения в режимах пуска и останова генератора, а также в опыте холостого хода (далее ХХ) и КЗ генератора;
- Гашение поля при нормальном останове переводом тиристоров в инверторный режим;
- Гашение поля в аварийных режимах переводом тиристоров в инверторный режим и отключением автомата гашения поля;
- Автоматическую разгрузку генератора по реактивной мощности до нуля ($\cos \varphi = 1$) при плановом останове генератора;
- Отключение от сети оператором или автоматически, в том числе, под действием защит;

5.7 Конструктивные особенности системы

Система возбуждения классифицируется, как система со 100%-ным резервированием преобразовательно-управляющего канала, то есть в составе системы содержится 2 тиристорных преобразователя и 2 регулятора возбуждения, каждый из которых способен полноценно выполнять функции системы возбуждения. В работе находится один из каналов – один силовой преобразователь и один регулятор. Второй преобразовательно-управляющий канал при этом находится в состоянии «Горячего резерва» - на него подано питание и все цепи измерений, но тиристорный преобразователь канала отключен (импульсы управления сняты), а терминал входных команд регулятора заблокирован.

В любой момент, в случае неисправности рабочего канала или по решению оператора, резервный канал может быть введен в работу, при этом рабочий канал автоматически выводится в резерв. Если вывод канала в резерв произошел по причине неисправности, ввод его в работу возможен только вручную, с местного инженерного пульта системы возбуждения, после устранения неисправности. При выводе канала в резерв оператором, обратный ввод канала в работу также может быть выполнен оператором дистанционно или по месту.

Рабочим становится канал, на который первым поступает питание. При одновременном поступлении питания рабочим, по умолчанию, становится канал №1.

Секция силовая переменного тока

Секция предназначена для ввода в систему возбуждения (СВ) силовых цепей переменного тока от выпрямительного трансформатора, для чего на крышу секции выведены шины с терминалами для подключения внешних силовых кабелей. Внутри секции размещены РС-цепи, защищающие тиристорные преобразователи от перенапряжений на стороне переменного тока, измерительные трансформаторы тока (1 комплект предназначен для питания внешних защит) и оборудование для питания вторичных цепей СВ напряжением переменного тока:

- трансформаторы СН системы, преобразующие напряжение ВО выпрямительного трансформатора в напряжение питания вторичных цепей с автоматическими выключателями на высокой стороне;
- согласующие трансформаторы для питания регуляторов возбуждения от цепей переменного тока с автоматическими выключателями на стороне;
- автоматические выключатели цепей синхронизации регуляторов с напряжением питания преобразователей;
- цепи ввода резервного питания 3х380V от СН станции, используемого для питания вентиляторов тиристорных мостов и питания вторичных цепей СВ при наладке.

Секция тиристорная

Секция состоит из 2-х одинаковых отсеков, в каждом из которых размещен

тиристорный преобразователь одного из преобразовательно-управляющих каналов СВ.

Тиристорный преобразователь состоит из одного элементарного моста с одним тиристором в каждом из 6 плеч. Тиристор защищен силовым предохранителем и индивидуальными RC-цепями, снимающими коммутационные перенапряжения. Управление тиристором выполняется через оптический драйвер – импульс управления поступает на драйвер от регулятора по пластиковой оптической линии (POF Versatile Link). Драйвер, в свою очередь, генерирует токовый импульс, открывающий тиристор. Питание драйвера выполнено через гальваническую развязку, обеспечивающую требуемый уровень изоляции цепей возбуждения от вторичных цепей СВ.

Охлаждение мостов – косвенное воздушное.

Тиристорный мост имеет выкатную конструкцию – при неисправности мост может быть извлечен из тиристорной секции для ремонта без снятия возбуждения с ГГ – возбуждение при этом будет обеспечиваться исправным каналом.

Секция силовая постоянного тока

Секция предназначена для подключения СВ к ротору гидрогенератора, для чего в ее нижней части выполнены силовые терминалы для подключения внешних силовых кабелей. В секции скомпонована аппаратура гашения поля и защиты ротора:

- автомат гашения поля АГП, снабжен двумя независимыми расцепителями;
- контакторы шунтирования ротора (КШР), подключающие к ротору ГГ блоки разрядных резисторов;
- тиристорный разрядник, установленный параллельно КШР и шунтирующий ротор на разрядные резисторы при возникновении перенапряжений на стороне выпрямленного напряжения СВ;
- автоматические выключатели постоянного тока цепей питания АРВ;
- тиристорный короткозамыкатель, шунтирующий щеточный аппарат ГГ при возникновении дугового КЗ и замыкающий контур тока ротора для снятия нагрузки с тиристорных мостов при их переключении;
- схема начального возбуждения (НВ), позволяющая снабжать ротор ГГ постоянным током на начальном этапе самовозбуждения генератора. Схема получает питание как от сети СН 3x380V станции через трансформатор, так и от аккумуляторной батареи станции 220V. Выбор источника осуществляется автоматически, при наличии переменного напряжения питание схемы НВ выполняется переменным током, с последующим 3-фазным выпрямлением, при отсутствии СН переменного тока процесс НВ выполняется от АБ станции.

Секция управления и регулирования (СУР)

Секция содержит аппаратуру управления системой возбуждения, терминалы входных команд управления, выходных сигналов и сетевые интерфейсы для интеграции СВ в цифровые системы управления.

В секции установлено 2 регулятора возбуждения, каждый из которых является управляющей структурой соответствующего преобразовательно-управляющего канала СВ. Регулятор представляет собой микропроцессорное устройство, объединяющее функции управляющего контроллера, автоматического регулятора возбуждения, системы импульсно-фазового управления тиристорными преобразователями, и системы мониторинга СВ. Под автоматическим регулятором возбуждения (АРВ) понимается устройство, выполняющее функции:

- поддержания на выводах ГГ или на шинах станции заданного напряжения с заданными статизмом и точностью;
- обеспечения устойчивого регулирования возбуждения во всех режимах работы генератора;
- повышения пределов статической и динамической устойчивости энергосистемы путем интенсивного демпфирования электромеханических колебаний, возникающих вследствие переходных процессов в энергосистеме;
- ограничения токов возбуждения с целью защиты ГГ и аппаратуры системы возбуждения в аномальных режимах.

Для реализации функции автоматического регулирования на СВ должны быть поданы цепи напряжения ГГ, но при их отключении регулятор может работать в Ручном режиме, как автоматический регулятор тока возбуждения. При этом ограничитель максимального тока ротора и ограничитель перегрузки ротора остаются в работе.

К функциям управляющего контроллера относятся технологические функции:

- Начальное возбуждение, предполагающее управление контакторами начального возбуждения в секции силовой постоянного тока и выполнение алгоритма плавного подъема напряжения на статоре ГГ до заданного значения;

- Подгонка напряжения ГГ к напряжению энергосистемы, функция, используемая при точной синхронизации генератора с сетью;

Управление возбуждением в процессе самосинхронизации. Алгоритм активируется внешней командой «Самосинхронизация», по которой выполняется гашение поля ГГ (в случае, если ГГ был возбужден), шунтирование ротора включением контакторов КШР в секции силовой постоянного тока и ожидание включения генераторного выключателя. При включении генератора в сеть с некоторой задержкой производится возбуждение ГГ и подгонка реактивной мощности ГГ к нулю ($Q \rightarrow 0$). После чего возможно управление реактивной мощностью с помощью команд «Больше», «Меньше»;

- Управление возбуждением в процессе нормального останова турбины. Функция активируется внешней командой «Останов», по которой реактивная мощность ГГ плавно сгоняется до нуля ($Q \rightarrow 0$), а после отключения ГГ от сети выполняется гашение поля ГГ.

- Регуляторы (АРВ1 и АРВ2) связаны между собой информационной шиной (по CAN-интерфейсу), и в случае исправности регуляторов резервный

регулятор контролирует состояние рабочего, в том числе, выполняет слежение за уставкой. Вследствие чего, переключение каналов (вручную или автоматически) не вызывает изменения режима возбуждения. В более широком смысле слежение позволяет резервному регулятору выявить неисправность рабочего регулятора, если режим возбуждения вышел за границы, определенные ограничителями или текущими параметрами резервного регулятора. В таком случае резервный регулятор сообщает рабочему о его неисправности и переводит управление на себя.

Перевод управления на резервный регулятор выполняется также при неисправности питания, цепей синхронизации или цепей напряжения рабочего регулятора. В последнем случае, если второй регулятор также неисправен, выполняется перевод активного регулятора в режим ручного управления. В остальных случаях, при неисправности резервного регулятора, выполняется аварийное гашение поля отключением АГП.

Регулятор сильного действия производства концерна «Силовые машины» сертифицирован по СТО 59012820.29.160.20.001-2012 «Требования к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов».

5.8 Технологические решения

Решения по управлению системой возбуждения.

Местное управление системой возбуждения выполняется посредством инженерного пульта – панельного компьютера с сенсорным экраном, встроенного в дверь секции управления и регулирования щита возбуждения.

Инженерный пульт имеет полный набор органов управления (команд) и отображает все параметры и сигналы, необходимые для управления системой возбуждения во всех эксплуатационных и аварийных режимах.

Сообщения о текущих неисправностях СВ отображаются на отдельном экране и представлены на рисунке 4.

Источник	Код	Содержание
АРВ1	A26	Отключение по защитам
АРВ1	A81	Неисправность ТП
АРВ1	b01	Отключен переключатель ON/OFF
АРВ1	DI-1.43	Нет сигнала "(AM1) SF основного вентилятора включен" [OK,Bfan]
АРВ1	DI-1.44	Нет сигнала "(AM2) SF основного вентилятора включен" [OK,Bfan]

Рисунок 4 - Экран неисправностей

Дистанционное управление системой возбуждения осуществляется от САУ ГА и с ЦПУ станции с помощью существующих органов управления и средств отображения информации. Дополнительно проектируются цепи команд управления и цепи индикации и сигнализации, характерные для 2-канальных систем со 100%-ным резервированием и отсутствующие в существующей системе: команды переключения каналов, команды включения подчиненного регулятора реактивной мощности ($Q = \text{const}$) и команды включения регулятора тока ротора (ручного режима АРВ).

Основные команды управления поступают на входной терминал секции СУР через реле-повторители, работающие от оперативного тока станции напряжением 220V и коммутирующие цепи входных оптронов СУР с напряжением управления 24 V. Данное решение принимается для обеспечения помехоустойчивости цепей управления СВ.

5.9 Решения по защитам СВ и цепей возбуждения ГГ

В соответствии с Техническими требованиями «Замена системы возбуждения гидрогенераторов ст.н. 1-21 Саратовской ГЭС», проектные решения предусматривают реализацию защит системы возбуждения средствами существующих на объекте шкафов микропроцессорных защит.

Перечень защит, реализуемых комплектом микропроцессорных защит:

- защита при неуспешном инвертировании;
- защита при потере возбуждения;
- защита при повышении напряжения статора генератора на холостом ходу;
- защита при перегрузке по току ротора с интегрально-зависимой характеристикой;
- защита при снижении частоты на холостом ходу;
- защита при неограниченной по току форсировке;
- защита при неограниченной по времени форсировке;
- максимальная токовая защита трансформатора возбуждения;
- токовая отсечка трансформатора возбуждения;
- защита от снижения изоляции цепей ротора.

6 Технический расчет

6.1 Требования к тиристорным преобразователям

Тиристорные преобразователи в системе возбуждения должны быть выбраны из условия обеспечения в длительном установившемся режиме не менее 110% номинальных значений тока и напряжения ротора генератора. В тиристорных системах возбуждения требуется предельно точное соблюдение равенства $U_{\text{пред.ф.}}/K_{\text{кр.}} \approx U_{\text{рот.ном.}}$ (с учетом потерь), то есть обеспечение источником питания кратности форсировки без ее завышения или занижения. Мощность источника питания должна определяться именно этим напряжением и номинальным током возбуждения (естественно, с учетом потерь). В режиме форсировки возбуждения тиристорные преобразователи должны обеспечивать двукратный ток ротора по отношению к номинальному значению тока ротора генератора в течении не менее:

- 50 секунд - для гидрогенераторов с косвенной обмоткой охлаждения;
- 20 секунд - для гидрогенераторов с форсированным воздушным или непосредственным водяным охлаждением обмотки ротора.

Основные параметры схем выпрямителей при активно-индуктивной нагрузке.

Выбор тиристора по напряжению.

При выборе тиристора для трехфазной мостовой схемы необходимо соблюсти два условия.

Первое условие:

$$\frac{U_2}{U_{d0}} = 0,427 \text{ В} \quad (6.1)$$

где U_2 – фазное напряжение трансформатора;

U_{d0} – напряжение трансформатора, которое допускается при максимальной форсировке;

$K_f = 2,5$ – коэффициент форсировки.

$$U_{d0} = 425 \times 2,5 = 1062,5 \text{ В} \quad (6.2)$$

$$\frac{U_2}{U_{d0}} = \frac{785}{1062,5} = 0,427 \quad (6.3)$$

Что удовлетворяет условию

Второе условие:

$$\frac{U_{\text{обр max}}}{U_{d0}} = 1,05 \quad (6.4)$$

Следовательно:

$$U_{обр. max} = 1062,5 \times 1,05 = 1115,6 \text{ В} \quad (6.5)$$

где $U_{обр. max}$ – максимальное обратное напряжение, которое способен выдержать вентиль.

Выбор тиристора по току.
Необходимо соблюсти два условия.
Первое условие:

$$I_{T \text{ ном}} \geq I_{K3/15}$$

$$I_{T \text{ ном}} = K3 \times I_T = 1,5 \times 2426,5 = 3639,7 \text{ А} \quad (6.6)$$

где $K_{31} = 1,5$ – коэффициент запаса по току.

I_T – допустимое значение тока (А), пропускаемого через тиристор.

$$I_T = K_I \times I_{ном} = 0,817 \times 2970 = 2426,5 \text{ А} \quad (6.7)$$

где $K_I = 0,817$ – коэффициент, характеризующий соотношение токов.

$I_{ном} = 2970 \text{ А}$ -номинальное значение тока.

$$I_{K3} = (I_{2\phi \text{ ном}} \times 100\%) / U_{K3\%} = (4270 \times 100\%) / 10\% = 42700 \text{ А} \quad (6.8)$$

где $U_{K3\%} = 5-10\%$

$I_{2\phi \text{ ном}}$ – номинальный ток вторичной обмотки трансформатора, (А)

$I_{2\phi \text{ расч}}$ – расчетный ток вторичной обмотки трансформатора, (А)

$$I_{K3} / 15 = 42700 / 15 = 2846,6 \text{ А} \quad (6.9)$$

$$3639,7 \text{ А} \geq 2846,6 \text{ А}$$

Условие выполнено.

Второе условие:

$$I_{2\phi \text{ ном}} \geq I_{2\phi \text{ расч}}$$

$$I_{2\phi \text{ расч}} = K_I \times K_i \times I_{ном} = 0,817 \times 1,1 \times 2970 = 2669 \text{ А} \quad (6.10)$$

где $K_i = 1,1$

$$2846,6 \text{ А} \geq 2669 \text{ А}$$

Второе условие соблюдено.

Тиристор выбирается в соответствии с рассчитанными параметрами.

6.2 Расчетные значения токов выпрямительного трансформатора

Токи в эксплуатационных режимах

Фазный ток выпрямительного трансформатора на стороне 10,5 kV при номинальном токе возбуждения:

$$I_{1.TE} = I_{f.NOM} \times K_{I.cx} / K_{TE} = 2700 \times 0,817 / (10500/785) = 2205,9 / 13,38 = 164,8 \text{ A} \quad (6.11)$$

где $I_{f.NOM} = 2700 \text{ A}$ – номинальный ток ротора ГГ;

$K_{I.cx} = 0,817$ – коэффициент схемы трехфазного выпрямления по току;

$K_{TE} = 10500/785 = 13,38$ – коэффициент трансформации выпрямительного трансформатора.

Фазный ток TE на стороне 10,5kV при двукратной форсировке возбуждения:

$$I_{1.TE.2F} = 2 \times I_{1.TE} = 2 \times 164,8 = 329,7 \text{ A} \quad (6.12)$$

Напряжение ротора при неограниченной форсировке:

$$U_{F.UL} = U_{1.TE.NOM} \times K_{U.cx} = 785 \times 1,34 = 1052 \text{ V} \quad (6.13)$$

где $U_{1.TE.NOM} = 785 \text{ V}$ – номинальное напряжение вентильной обмотки выпрямительного трансформатора.

$K_{U.cx} = 1,34$ – коэфф. схемы мостового выпрямителя по напряжению.

Ток ротора при неограниченной форсировке:

$$I_{F.UL} = U_{F.UL} / R_f = 1052 / 0,17 = 6188 \text{ A} \quad (6.14)$$

где $R_f = 0,1696 \Omega$ – сопротивление ротора ГГ (при 15°C, «холодный ротор»).

Фазный ток TE на стороне 10,5kV при неограниченной форсировке:

$$I_{1.TE.UL} = I_{F.UL} \times K_{I.cx} \frac{cx}{K_{TE}} = 6188 \times \frac{0,817}{\frac{10500}{785}} = 377,8 \text{ A} \quad (6.15)$$

Токи короткого замыкания

Ток трехфазного КЗ на стороне генераторного напряжения TE (без учета подпитки от энергосистемы):

$$I''(3) = E''G \times I_g.n / X''dG = 1,00 \times 4270 / 0,224 = 19062,5 \text{ A} \quad (6.16)$$

Ток двухфазного КЗ на стороне генераторного напряжения выпрямительного трансформатора (без учета подпитки от энергосистемы):

$$I''(2) = (\sqrt{3} / 2) I''(3) = (\sqrt{3} / 2) \times 19062,5 = 16489 \text{ A} \quad (6.17)$$

Максимальное значение тока трехфазного КЗ на стороне вентильной обмотки ТЕ, протекающего по стороне генераторного напряжения 10,5кV:

$$i(3) = [STE.NOM / (\sqrt{3} U1TE.NOM) \times 100\%] / ek.TE (\%) = [3168000 / (\sqrt{3} \times 10500)] / 0,07 = 2491,5 \text{ A} \quad (6.18)$$

Ток двухфазного КЗ на стороне вентильной обмотки выпрямительного трансформатора, протекающий по стороне генераторного напряжения:

$$i(2) = (\sqrt{3} / 2) i(3) = 2155 \text{ A} \quad (6.19)$$

6.3 Уставки токовых защит выпрямительного трансформатора

Защиты реализуются в микропроцессорном комплексе. Датчиком тока для защит служат комплекты ТТ (400/5А) на стороне СО (10,5кV) выпрямительного трансформатора.

Токовые защиты выпрямительного трансформатора выполняются в соответствии с «Методическими указаниями по наладке тиристорной системы самовозбуждения серии СТС для турбо - и гидрогенераторов» (-М.: СПО ОРГРЭС, 1992). Методика предусматривает наличие максимальной токовой защиты (МТЗ), отстроенной от максимального тока, возможного в нормальных эксплуатационных режимах ГГ, и токовой отсечки (ТО). МТЗ действует на гашение поля (АГП) и отключение ГГ от сети с выдержкой времени, отстроенной от времени перегорания предохранителей тиристорных преобразователей. ТО действует на отключение АГП и отключение ГГ от сети без выдержки времени.

Уставка максимальной токовой защиты Минимальный ток срабатывания защиты на стороне 10,5кV отстраивается или от фазного тока выпрямительного трансформатора при неограниченной форсировке I1.ТЕ.UL, или, ввиду малой выдержки времени, от броска тока намагничивания ТЕ I1.ТЕ.MG, возможного при самосинхронизации ГГ.

Ток намагничивания принимается равным:

$$I1.ТЕ.MG, = 4,5 \times I1.ТЕ.NOM = 4,5 \times 164,8 = 741,6 \text{ A} \quad (6.20)$$

В данном случае:

$$I1.ТЕ.UL = 377,8 \text{ A} < I1.ТЕ.MG = 741,6 \text{ A} \quad (6.21)$$

Уставка отстраивается от значения тока намагничивания:

$$I_{MT3.MIN} = I_{1.TE.MG} \times K_N / K_B = 741,6 \times 1,2 / 1,0 = 889,9 \text{ A} \quad (6.22)$$

где $K_N = 1.2$ – коэффициент надежности защиты;

$K_B = 1.0$ – коэффициент возврата «токового реле»;

В качестве уставки выбирается значение, удобное для настройки:

$$I_{MT3} = 900 \text{ A} = 5,46 \times I_{1.TE.NOM} (> I_{MT3.MIN})$$

Коэффициент чувствительности МТЗ при выбранной уставке:

$$K_{ч. MT3} = i(2) / I_{MT3} = 2155 / 900 = 2,39 \quad (6.23)$$

$K_{ч. MT3}$ – должен быть > 1.5

Выдержка времени МТЗ отстраивается от времени перегорания предохранителей тиристорного преобразователя:

$$t_{MT3} = (0.2 - 0.4) \text{ с.}$$

Уставки МТЗ ($I > TE$):

$$I_{TE.MT3} = I_{MT3} / K_{TT} = 900 / (400/5) = 11,25 \text{ A} \quad (6.24)$$

$$t_{TE.MT3} = t_{MT3} = 0.4 \text{ с.}$$

Уставка токовой отсечки

Минимальный ток срабатывания защиты:

$$I_{TO.MIN} = i(3) \times K_N = 2491,5 \text{ A} \times 1,4 = 3488 \text{ A} \quad (6.25)$$

где $K_N = 1.4$ – коэффициент надежности защиты;

Ток намагничивания $I_{1.TE.MG} < I_{TO.MIN}$, уставка отстраивается от $I_{TO.MIN}$.

Ток срабатывания защиты:

$$I_{TO} = 3500 \text{ A} (> I_{TO.MIN})$$

Коэффициент чувствительности ТО при выбранной уставке:

$$K_{ч. TO} = I''(2) / I_{TO} = 16489 / 3500 = 4,7 \quad (6.26)$$

Кч. ТО должен быть > 2.0

Уставки ТО ($I \gg TE$):

$$ITE. TO = I TO / K_{TT} = 3500 / (400/5) = 43,75 A \quad (6.27)$$

$$tTE. TO = 0.0 \text{ с (без выдержки времени)}$$

6.4 Защиты ротора ГГ от перегрузки

Защиты реализуются в микропроцессорном комплексе. Датчиком тока для защит служат комплекты ТТ (3000/5А) на входе секции шита возбуждения (со стороны 785В ТЕ). Номинальному току ротора $I_f. NOM = 2970A$ соответствует вторичный ток ТТ (входной ток защиты)

$$ITT. NOM = 2970 / (3000/5) = 4,95 A \quad (6.28)$$

Защита (I_p) имеет интегрально-зависимую характеристику времени допустимого перегруза от кратности перегруза ротора током возбуждения.

Сигнальная ступень защиты вступает в работу при токе $I_f = 1,05 I_{f.nom}$. ($I_f = 3118,5 A \rightarrow$ входной ток защиты 5,2 А).

Ступень I защиты воздействует на включение резервного канала управления СВ (аварийное переключение АРВ).

Ступень II воздействует на гашение поля (АГП) и отключение ГГ от сети.

Характеристика защиты представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Характеристика защит

Кратность перегрузки, $I_f/I_{f.nom}$	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	2,00
Ток ротора, I_f , А	3267	3564	3861	4158	4455	5940
Входной ток защиты, А	5,45	5,94	6,44	6,93	7,43	9,9
Время ступени I, sec	435	210	150	95	56	18
Время ступени II, sec	450	220	160	105	61	20

При неограниченной форсировке $I_f > 2,20 I_{f.nom}$. ($I_f = 6534 A \rightarrow$ входной ток защиты 10,89 А) отсечка защиты ($I_p >$):

- с минимальной выдержкой времени $t_1=0,1$ сек воздействует на включение резервного канала управления (аварийное переключение АРВ);

- с выдержкой времени $t_2=1,0$ с – на гашение поля (АГП) и отключение ГГ от сети.

При длительной форсировке $I_f > 1,80 I_{f.nom}$. ($I_f = 5346 A \rightarrow$ входной ток защиты 8,91 А).

При $t > 25$ с, защита ($I_p > R_g$):

- без выдержки времени воздействует на включение резервного канала управления (аварийное переключение АРВ);

- с выдержкой времени $t=1,0$ с – на гашение поля (АГП) и отключение ГГ от сети.

6.5 Уставки встроенных ограничителей СВ

Защита ротора ГГ от перенапряжений (ограничитель перенапряжений)

Устройство представляет собой тиристорный разрядник многократного действия, установленный в секции силовой постоянной тока щита возбуждения.

В случае возникновения перенапряжения в цепях ротора разрядник мгновенно шунтирует ротор на блоки разрядных резисторов и воздействует на включение контакторов. Контактторы кратковременно включаются параллельно разряднику, при этом тиристоры разрядника закрываются, восстанавливая разрядник для последующей работы.

Уставка срабатывания разрядника.

Испытательное напряжение изоляции ротора принимается равным 10-и кратному номинальному напряжению возбуждения электрической машины, но не менее 1500 В и не более 3500 В действующего значения.

В продолжительном режиме максимальные мгновенные значения напряжения на выводах обмотки ротора при токе возбуждения до 1,1 номинального не должны быть выше 30% амплитуды полного испытательного напряжения обмотки возбуждения относительно корпуса.

В нашем случае, для номинального напряжения возбуждения $U_{f.n} = 425$ В, испытательное напряжение изоляции ротора $U_{HVT} = 3500$ В. Амплитуда допустимых коммутационных перенапряжений на выводах обмотки ротора:

$$U_{OV.F} = 0.3 \times 3500 \times \sqrt{2} = 1485 \text{ В} \quad (6.29)$$

Напряжение срабатывания разрядника отстраивается от уровня допустимых коммутационных перенапряжений:

$$U_{FV1} = 1700 \text{ В.}$$

Ограничитель перегруза ротора

Ограничитель реализован в АРВ, характеристика ограничения отстраивается от ступени 1 защиты ротора от перегруза МПЗ.

Характеристика ограничения перегруза представлены в таблице 15:

Таблица 15 – Характеристика ограничения перегруза

Продолжительность перегрузки по ротору, секунды	Кратность перегрузки, о.е.					
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2
	3600	240	180	120	100	50

Сигнализация о перегрузе вступает в работу при токе $I_f = 1,05$ $I_{f.nom} = 3118,5$ А.

Ограничитель максимального тока ротора

Ограничитель реализован в АРВ, уставка ограничителя:

- максимальный ток ротора ГГ в сети – 5940А
- максимальный ток ротора ГГ на ХХ – 2530А

7 Экономический расчет

7.1 Оценка объемов продаж электроэнергии

Главными показателями (товаром) ГЭС являются электроэнергия и мощность, они взаимосвязаны между собой балансами мощности и энергии энергосистемы.

Мощность, вырабатываемая станцией равна установленной мощности ГЭС, и реализуется на рынке в зависимости от тарифной ставки для заданного региона по «Единым сценарным условиям» ПАО «РусГидро».

На Саратовской ГЭС установлены 24 ГА, из которых 21 поворотно-лопастная вертикальная гидротурбина $P_{уст} = 60(66)$ МВт, 2 горизонтально-капсульных поворотно-лопастных гидроагрегата $P_{уст} = 54$ МВт и 1 вертикальный поворотно-лопастной гидроагрегат $P_{уст} = 11$ МВт.

Модернизация тиристорной системы возбуждения позволит суммарно увеличить располагаемую мощность на 21-ном ПЛ гидроагрегате на 126 МВт.

Один комплект системы возбуждения спроектирован для работы на два генератора одновременно.

Поставка оборудования рассчитывается на 10 типовых комплектов (ГГ 1-20) и 1 нетиповой комплект системы возбуждения (ГГ-21).

Затраты на производство и монтаж 1 комплекта оборудования на пару гидрогенераторов на 2019 год составляет ориентировочно 51,2 млн. руб.

Стоимость СВ для ГГ № 1-20 представлена в таблице 16.

Таблица 16 – Стоимость СВ для ГГ №1-20

Себестоимость 1 комплекта	49,4 млн. руб.
Монтаж и наладка системы возбуждения	1,8 млн. руб.
Суммарная стоимость 1 комплекта	51,2 млн. руб.
Стоимость СВ для ГГ 1-20	512 млн. руб.

Стоимость СВ для ГГ № 21 представлена в таблице 17.

Таблица 17 – стоимость СВ для ГГ № 21

Себестоимость комплекта	24,7 млн. руб.
Монтаж и наладка системы возбуждения	1 млн. руб.
Суммарная стоимость комплекта	25,7 млн. руб.

Стоимость СВ для ГГ 1-21 составила - 537,7 млн. руб.

Средневзвешенная величина стоимости электроэнергии на рынке электроэнергии и мощности показана на графике. Ценовая зона электроэнергии определяется для каждого региона. Саратовская ГЭС находится в операционной зоне ОЭС Средней Волги. На рисунке 5 представлены зависимости ИБР (индекса балансирующего рынка) и Цены РСВ (Рынок на сутки вперед) от времени.

Индикатор БР на 30.05.2019 (1 ценовая зона, ОЭС Средней Волги)

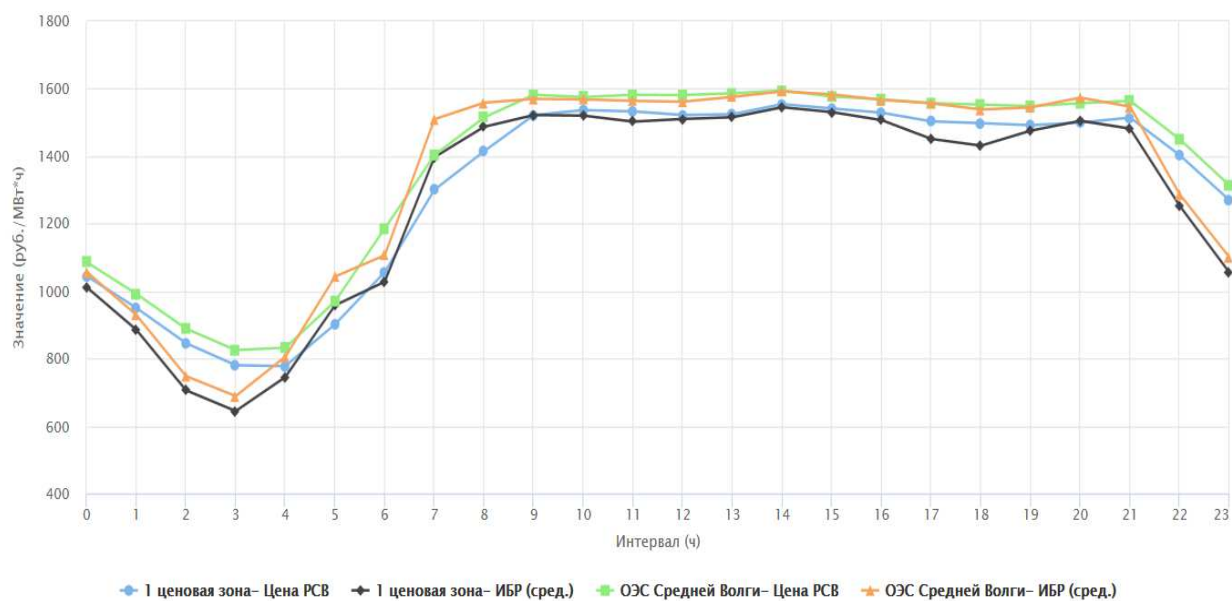


Рисунок 5 - Зависимость ИБР и Цены РСВ от времени

На рисунке 6 приведены значения величин ИБР и РСВ на интервал времени. Согласно этой таблице можно определить наибольшую и наименьшую величину стоимости электроэнергии за сутки.
ОЭС Средней Волги

[Транспонировать](#)

Интервал(ч)	ИБР (сред.) (руб./МВт*ч)	Цена РСВ (руб./МВт*ч)
0	1057.44	1086.22
1	929.50	992.21
2	748.12	888.86
3	689.12	825.49
4	805.93	832.46
5	1043.47	969.77
6	1106.38	1185.86
7	1509.79	1403.43
8	1558.80	1515.17
9	1570.03	1582.21
10	1568.67	1575.70
11	1564.23	1582.36
12	1561.75	1581.52
13	1576.12	1586.58
14	1592.24	1594.83
15	1583.52	1577.12
16	1567.00	1568.91
17	1557.32	1557.37
18	1538.68	1553.12
19	1544.77	1548.84
20	1573.79	1557.32
21	1547.00	1564.37
22	1286.83	1450.24
23	1100.18	1313.68

Рисунок 6 - Величины ИБР и РСВ на интервал времени

$$N_{\text{уст}} = 1415 \text{ МВт.}$$

Энергия, вырабатываемая станцией, определяется как произведение мощности на количество часов в сутках:

$$E = N_{\text{уст}} \cdot 24 \text{ ч} = 1415 \cdot 24 = 33960 \text{ МВт} \cdot \text{ч.} \quad (7.1)$$

Полученное значение не достоверно, по причине невозможности работы станции на полную мощность в течении всех суток. Исключением может являться пропуск половодья.

Произведем расчет стоимости 1 МВт электроэнергии за сутки, опираясь на предоставленные данные стоимости электроэнергии.

$$Q_{\text{ночь}} = Q_{\text{ночь}} \cdot 8 \text{ ч} = 700 \cdot 8 = 5600 \text{ руб.} \quad (7.2)$$

$$Q_{\text{день}} = Q_{\text{день}} \cdot 16 \text{ ч} = 1600 \cdot 16 = 25600 \text{ руб.} \quad (7.3)$$

$$Q_{\text{сумм}} = Q_{\text{ночь}} + Q_{\text{день}} = 5600 + 25600 = 31200 \text{ руб.} \quad (7.4)$$

где $Q_{\text{ночь}}$ – стоимость электроэнергии за ночное время.

$Q_{\text{день}}$ – стоимость электроэнергии за дневное время.

$Q_{\text{сумм}}$ – суммарная стоимость 1 МВт электроэнергии за день.

Для упрощения расчетов будем использовать только мощность модернизируемых гидроагрегатов.

Суммарная мощность вертикальных гидроагрегатов до модернизации составляет 1260 МВт.

Мощность гидроагрегатов после модернизации увеличится на 126 МВт и составит 1386 МВт. (Расчет производится для модернизируемых вертикальных, поворотно-лопастных гидроагрегатов, ст.№ ГГ 1-21 включительно)

Рассчитаем суточный доход от модернизации:

$$N1 = N_{\text{ст1}} \cdot Q_{\text{сумм}} = 1260 \cdot 31200 = 39312000 \text{ руб} \quad (7.5)$$

$$N2 = N_{\text{ст2}} \cdot Q_{\text{сумм}} = 1386 \cdot 31200 = 43243200 \text{ руб} \quad (7.6)$$

$$N3 = N_f \cdot Q_{\text{сумм}} = 126 \cdot 31200 = 3931200 \text{ руб} \quad (7.7)$$

где $N1$ – суточных доход станции от продажи электроэнергии, до модернизации.

$N2$ – суточных доход станции от продажи электроэнергии, после модернизации.

$N3$ – чистый доход в сутки.

N_f – сумарно увеличенная мощность.

Рассчитаем годовой доход от модернизации:

$$D = N3 \cdot 365 = 3931200 \cdot 365 = 1434,815 \text{ млн. руб.} \quad (7.8)$$

Годовой доход от увеличения установленной мощности возрастет на 1434,815 млрд.руб.

Расчет по данным за сутки одного месяца не абсолютно точны, так как торги происходят каждый день, изменяя цену на электроэнергию.

Полученное значение не достоверно, по причине невозможности работы станции на полную мощность в течении всех суток. Исключением может являться пропуск половодья. Пропуск половодья в среднем составляет 1 месяц.

Произведем выборку данных с сайта системного оператора и средств коммерческого и технологического учета электроэнергии. На основании этих данных составляем таблицы средневзвешенной цены и объема выработанной электроэнергии станцией за отчетный период.

Основные экономические параметры за 2017 год представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Основные экономические параметры за 2017 год

Средневзвешенная цена и объем выработки электроэнергии и мощности за 2017 год		
Полезный отпуск эл.эн.	тыс.кВт.ч	6 760 473,80
Стоимость продажи эл.эн.	тыс.руб.	6 521 463,70
Цена эл.эн.	руб./тыс.кВт.ч	964,65
Мощность продажа	МВт в месяц	1 230,77
Стоимость продажи мощности	тыс.руб.	2 089 718,45
Цена продажи мощности	тыс.руб./МВт в мес.	141 233,70
Одноставочный тариф за 1 МВт эл.эн. с учетом продажи мощности		1 273,75

Основные экономические параметры за 2018 год представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Основные экономические параметры за 2018 год

Средневзвешенная цена и объем выработки электроэнергии и мощности за 2018 год		
Полезный отпуск эл.эн.	тыс.кВт.ч	6 257 393,63
Стоимость продажи эл.эн.	тыс.руб.	6 318 624,25
Цена эл.эн.	руб./тыс.кВт.ч	1 009,79
Мощность продажа	МВт в месяц	1 063,92
Стоимость продажи мощности	тыс.руб.	1 793 546,28
Цена продажи мощности	тыс.руб./МВт в мес.	140 493,36
Одноставочный тариф за 1 МВт эл.эн. с учетом продажи мощности		1 296,41

Так же в таблицы №№18,19 был включен такой показатель, как цена на мощность станции. Эта величина показывает готовность станции к несению нагрузки. Величина мощности тоже участвует в торгах на рынке и может варьироваться в зависимости от количества станций, заявившихся на участие в торгах. Определяется востребованностью к нагрузке в регионе, количеством участников и их планами на проведение ремонтов оборудования.

Полученные данные позволят нам рассчитать наиболее достоверно максимальное увеличение среднегодовой выработки и чистой прибыли.

Усредненный показатель стоимости электроэнергии за 1 МВт по данным за 2017, 2018 года составляет 1284,9 рублей.

Полезный отпуск электроэнергии за прошлый год составил 6257393,63 тыс. кВт*ч. Разделив данное значение на количество дней в году, получим усредненное значение суточной выработки.

Средняя выработка электроэнергии за сутки составила 17143,54 МВт, следовательно, в час станция вырабатывает 714 МВт.

Увеличение суммарной мощности станции позволит поднять суточный диспетчерский график.

Увеличение мощности на 126 МВт составит приблизительно 8,4% от всей мощности станции. Можно предположить, что суточная выработка увеличится на 8 процентов.

$$17143,54 \times 8\% = 18515 \text{ МВт} * \text{сутки} \quad (7.9)$$

$$18515 \times 365 = 6757983,468 \text{ МВт} * \text{год} \quad (7.10)$$

Предположим цена за 1 МВт электроэнергии останется прежней. Следовательно, суммарная прибыль от продажи электрической энергии и мощности вырастет пропорционально.

Доход после модернизации составит:

$$6757983,468 \times 1,00979 = 6824144,13 \text{ тысяч рублей в год} \quad (7.11)$$

Чистая прибыль:

$$6824144,13 - 6318624,25 = 505519,88 \text{ тысяч рублей} \quad (7.12)$$

Рост чистой прибыли в год составит ориентировочно 505,5 млн.рублей.

Как мы видим из представленных расчетов, время окупаемости проекта по замене системы возбуждения составит 1 год и 1 месяц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На Саратовской ГЭС необходимо заменить тиристорную систему возбуждения гидрогенераторов, так как существующая система возбуждения отработала свой срок службы, не соответствует по параметрам для модернизированного оборудования и потому требует замены.

Многочисленными были проработаны варианты предлагаемого оборудования различных производителей, как отечественных, так и зарубежных, и выбран оптимальный.

Модернизируемая тиристорной системы возбуждения гидрогенераторов Саратовской ГЭС на предложенном оборудовании будет соответствовать всем современным техническим и эксплуатационным требованиям.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Анализ оборудования на соответствие современным, отечественным стандартам.

- Выявление недочётов в конструкции оборудования с целью формирования более правильного технического задания.

Был произведен анализ оборудования на соответствие современным стандартам.

Проведены наблюдения за оборудованием в процессе эксплуатации.

Выявлены недочёты в конструкции оборудования и сформированы параметры для технического задания.

Заимствован опыт модернизации систем возбуждения на других станциях Российской Федерации и опыт зарубежных партнеров.

Результатом моей научной работы является анализ существующих систем возбуждения и рекомендации по замене. Субъективная оценка существующих аналогов. Выбор оборудования, удовлетворяющего техническому заданию. Возможная компоновка и размещение в машинном зале Саратовской ГЭС.

Данные предложения считаю возможным к рассмотрению при реконструкции систем возбуждения на Саратовской ГЭС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Статические тиристорные системы возбуждения для гидро и турбогенераторов средней мощности. [Электронный ресурс]: Справочная правовая система «КонсультантПлюс». - Режим доступа: <http://energocomplekt.ru/o/sistemy-vozbuzhdeniya/item/18-generators-strn.html>
2. Система возбуждения гидрогенераторов. [Электронный ресурс]: Справочная правовая система «КонсультантПлюс». - Режим доступа: <http://steam-turbines.ru/gidrogeneratory/7.htm>
3. Система возбуждения синхронного генератора. [Электронный ресурс]: Справочная правовая система «КонсультантПлюс». - Режим доступа: <http://www.pluton.by/index.php?p=331>
4. НПО «ЭЛСИБ» ПАО Научно-производственное объединение «ЭЛСИБ» публичное акционерное общество. [Электронный ресурс]: Справочная правовая система «КонсультантПлюс». - Режим доступа: <http://www.elsib.ru>
5. Техническое предложение на разработку, изготовление и поставку системы тиристорной самовозбуждения, типа СТС-2П-510-2050-2,5 УХЛ4 для гидрогенератора СВ 1490/170-96 УХЛ4 Майснского ГУ, филиала ОАО «Силовые машины»-«Электросила». [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <http://www.power-m.ru>
6. Каталог представлен на выставке «RUSSIA POWER 2005» каталог включен в базу данных «федерального информационного фонда отечественных и иностранных каталогов на промышленную продукцию» UNITROL 5000 системы возбуждения для синхронных средней и большой мощности федеральный информационный фонд отечественных и иностранных каталогов на промышленную продукцию. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <http://www.ABB.com>
7. ГОСТ 21558-2000. Межгосударственный стандарт. Системы возбуждения турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов. Общие технические условия. Принят межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации; Введен 2003-06-30; М.: Изд-во стандартов, 2003. 19 с.
8. СТО 59012820.29.160.20.001-2012. Требования к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов; Введен 2012-04-03; М.: Изд-во стандартов, 2002. 67 с.
9. ГОСТ 26772-85. Машины электрические вращающиеся. Обозначение выводов и направление вращения. Взамен ГОСТ 183-74; Введен 1987-01-01; М.: Изд-во стандартов, 1986. 172 с.
10. ГОСТ 5616-89 Генераторы и генераторы-двигатели электрические гидротурбинные. Общие технические условия. Взамен ГОСТ 5616-81 ГОСТ 17525-81; Введен 1990-06-30; М.: Изд-во стандартов, 1989; ИПК Издательство стандартов, 2003. 16 с.
11. ГОСТ 4.171-85. (с изм.1.04.88) СПКП. Турбогенераторы, гидрогенераторы, синхронные компенсаторы и их системы возбуждения.

Система показателей качества продукции. Номенклатура показателей; Введен 1986-06-30; М.: Изд-во стандартов, 1985; ИПК Издательство стандартов, 2002. 7 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Референц-лист по тиристорным системам возбуждения производства «Электросила»

Таблица А.1 - Референц-лист по тиристорным системам возбуждения
производства «Электросила»

№ п/п	Название станции	Страна	Кол-во систем	Год выпуска	Мощность генератора, МВт	Тип системы	Коэф. форсир. по напряжению	Ном. напряжение возбуждения, В	Ном. ток возбуждения, А	Длительность форсирования, с	Охлажд. тиристоров
1	Джердап ГЭС	Югославия	3	1969	171	СТН	2,0	374	1720	50	•••
2	Железные Ворота ГЭС	Румыния	6	1969	171	СТН	2,0	374	1720	50	•••
3	Капивара ГЭС	Бразилия	4	1972	160	СТН	2,0	233	1482	50	••
4	Братская ГЭС	Россия	14	1973	250	СТН	4,0	430	1595	50	••
5	Запорожская ГРЭС	Украина	2	1974 – 1976	800	СТН	2,0	600	3850	20	••
6	Красноярская ГЭС	Россия	12	1974	500	СТН	3,5	606	3770	30	••
7	Зейская ГЭС	Россия	6	1975	215	СТН	4,0	260	2060	50	••
8	Углегорская ГРЭС	Украина	2	1975 – 1976	800	СТН	2,0	600	3850	20	••
9	Саяно-Шушенская ГЭС	Россия	9	1977	640	СТН	3,0	530	3500	30	••
10	Сырдарьинская ГРЭС	Узбекистан	4	1977 – 1980	320	СТН	2,0	447	2900	20	••
11	Сургутская ГРЭС-1	Россия	10	1977 – 1984	200	СТН	2,0	300	2540	20	••
12	Собрадиньо ГЭС	Бразилия	6	1978	175	СТН	2,0	555	1620	30	••
13	Смоленская АЭС	Россия	6	1978 – 1988	500	СТН	2,0	482	3590	20	••
14	Кольская АЭС	Россия	4	1979 – 1981	220	СТН	2,0	325	2740	20	••
15	Чернобыльская АЭС	Украина	4	1979 – 1981	500	СТН	2,0	482	3590	20	••
16	Южная ТЭЦ Ленэнерго	Россия	3	1979 – 1987	320	СТН	2,0	447	2900	20	••

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

№ п/п	Название станции	Страна	Кол-во систем	Год вы-пуска	Мощность генератора, МВт	Тип системы	Коэф. форсир. по напряжению	Ном. напряжени-е возбуждения, В	Ном. ток возбуждения, А	Длительность форсировки, с	Охлажд. тиристоров
18	Рязанская ГРЭС	Россия	2	1980	800	СТН	2,0	600	3850	20	••
19	Новокемеровская ТЭЦ	Россия	1	1980	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
20	Киевская ТЭЦ-6	Украина	2	1980 – 1982	320	СТН	2,0	447	2900	20	••
21	Красноярская ТЭС-2	Россия	2	1980 – 1983	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
22	Игналинская АЭС	Литва	4	1980 – 1985	800	СТН	2,0	600	3850	20	••
24	Могилевская ТЭЦ-2	Белоруссия	1	1981	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
25	Новославянская ТЭЦ	Россия	1	1981	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
26	Тобольская ТЭС	Россия	2	1981 – 1985	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
27	ТЭЦ ВАЗ	Россия	3	1981 – 1987	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
28	Агиос-Димитриос ТЭС	Греция	2	1982 – 1983	320	СТН	2,0	447	2900	20	••
29	Экибастузская ГРЭС-1	Казахстан	4	1982 – 1984	500	СТН	2,0	482	3590	20	••
30	Аминдеон ТЭС	Греция	2	1983 – 1984	320	СТН	2,0	447	2900	20	••
31	Чебоксарская ТЭЦ-2	Россия	1	1983	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
32	Казанская ТЭЦ-2	Россия	1	1983	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
34	ТЭЦ-26 Мосэнерго	Россия	5	1983 – 1988	320	СТН	2,0	447	2900	20	••
35	Сургутская ГРЭС-2	Россия	7	1983 – 1990	800	СТН	2,0	600	3850	20	••
36	Дзержинская ТЭЦ	Россия	1	1984	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
37	Ульяновская ТЭЦ	Россия	1	1984	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
38	Орханели ТЭС	Турция	1	1984	200	СТН	2,0	300	2540	20	••

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

№ п/п	Название станции	Страна	Кол-во систем	Год выпуска	Мощность генератора, МВт	Тип системы	Коэф. форсир. по напряжению	Ном. напряжение возбуждения, В	Ном. ток возбуждения, А	Длительность форсировки, с	Охлажд. тиристоров
39	Минская ТЭЦ-4	Белоруссия	2	1984 – 1990	320	СТН	2,0	447	2900	20	••
40	Барабинская ГРЭС	Россия	1	1985	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
41	Виндьячал ТЭС	Индия	6	1985 – 1986	200	СТН	2,0	300	2540	20	••
42	Пермская ГРЭС	Россия	3	1985 – 1990	800	СТН	2,0	600	3850	20	••
43	Волгодонская ТЭЦ-2	Россия	1	1986	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
44	Сыктывкарская ТЭЦ	Россия	1	1986	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
45	Экибастузская ГРЭС-2	Казахстан	1	1986	500	СТН	2,0	482	3590	20	••
46	Литовская ГРЭС	Литва	1	1986	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
47	ТЭЦ-24 Мосэнерго	Россия	1	1987	320	СТН	2,0	340	3500	20	••
48	Хоа-Бинь ГЭС	Вьетнам	8	1987	240	СТН	3,5	430	1710	50	••
49	Березовская ГРЭС	Россия	2	1987 – 1989	800	СТН	2,0	600	3850	20	••
50	Щекинская ГРЭС	Россия	2	1987 – 1989	220	СТН	2,0	310	2400	20	••
51	Чжаньцзе ТЭС	Китай	1	1987 – 1989	220	СТН	2,0	310	2400	20	••
52	Харьковская ТЭЦ-5	Украина	1	1988	320	СТН	2,0	340	3500	20	••
53	Хуандао ТЭС	Китай	2	1988 – 1989	220	СТН	2,0	310	2400	20	••
54	Марица Восток ТЭЦ	Болгария	2	1988 – 1989	200	СТН	2,0	300	2540	20	••
55	Муданцзян ТЭС	Китай	2	1988 – 1989	220	СТН	2,0	310	2400	20	••
56	Кахалгаон ТЭС	Индия	4	1989 – 1990	220	СТН	2,0	326	2510	20	••

Продолжение приложения А
Продолжение таблицы А.1

№ п/п	Название станции	Страна	Кол-во систем	Год вы-пуска	Мощность генератора, МВт	Тип системы	Коэф. форсир. по напряжению	Ном. напряжение возбуждения, В	Ном. ток возбуждения, А	Длительность форсировки, с	Охлажд. тиристоров
58	ТЭЦ-25 Мосэнерго	Россия	2	1989 – 1990	320	СТН	2,0	447	2900	20	••
59	Мултан ТЭС	Пакистан	3	1989 – 1990	220	СТН	2,0	326	2510	20	••
60	Тбилисская ГРЭС	Грузия	1	1989 – 1992	320	СТН	2,0	340	3500	20	••
61	Волжская ТЭЦ-2	Россия	1	1990	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
62	Нанкин ТЭС	Китай	2	1990 – 1991	320	СТН	2,0	340	3500	20	••
63	Нижневартовская ГРЭС	Россия	2	1990 – 1995	800	СТН	2,0	600	3850	20	••
64	Талимарджанская ГРЭС	Узбекистан	1	1991	800	СТН	2,0	600	3850	20	••
65	Разданская ГРЭС	Армения	1	1992	320	СТН	2,0	340	3500	20	••
66	Томская ТЭЦ-3	Россия	1	1992	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
67	Яйвинская ГРЭС	Россия	1	1992	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
68	Рамин ТЭС	Иран	2	1992 – 1993	320	СТН	2,0	447	2900	20	••
69	Инкоу ТЭС	Китай	2	1992 – 1993	320	СТН	2,0	340	3500	20	••
70	Цзисянь ТЭС	Китай	2	1992 – 1993	500	СТН	2,0	482	3590	20	••
71	Назаровская ГРЭС	Россия	1	1993	160	СТН	2,0	370	2240	20	••
72	Шаньтоу ТЭС	Китай	2	1993 – 1994	320	СТН	2,0	340	3500	20	••
73	Иминь ТЭС	Китай	2	1996 – 1997	500	СТН	2,0	482	3590	20	••
74	Суйджун ТЭС	Китай	2	1997 – 1998	800	СТН	2,0	600	3850	20	••
75	Красноярская ГЭС	Россия	3	1997 – 1999	500	СТН	3,5	600	4000	30	•••

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

№ п/п	Название станции	Страна	Кол-во систем	Год выпуска	Мощность генератора, МВт	Тип системы	Коэф. форсир. по напряжению	Ном. напряжение возбуждения, В	Ном. ток возбуждения, А	Длительность форсировки, с	Охлажд. тиристоров
77	Конаковская ГРЭС	Россия	1	2000	350	СТН	2,0	550	3000	20	•••
78	Юсифия ТЭС, агр. № 1	Ирак	1	2001	220	СТН	2,0	360	2800	20	••
79	Юсифия ТЭС, агр. № 2	Ирак	1	2002	220	СТН	2,0	360	2800	20	••
80	Нижневартовская ГРЭС	Россия	1	2003	800	СТН	2,0	670	4200	20	••
81	Юсифия ТЭС, агр. № 3	Ирак	1	2003	220	СТН	2,0	360	2800	20	••
82	Лукомльская ГРЭС	Белоруссия	1	2003	320	СТН	2,0	550	3200	20	••
83	Братская ГЭС	Россия	1	2003	250	СТН	3,2	480	1870	50	•
84	Игналинская АЭС	Литва	2	2004	800	СТН	2,0	670	4200	20	••
85	Братская ГЭС	Россия	2	2004	250	СТН	3,2	480	1870	50	•
86	Джердап ГЭС	Сербия и Черногория	1	2004	190	СТН	2,0	435	1250	20	•••
87	Дженпег ГЭС	Канада	6	1975	33,6	СТС	2,5	220	2400	20	••
88	Сальто-Гранде ГЭС	Аргентина	14	1977	135	СТС	2,5	325	1500	50	••
89	Кегумская ГЭС	Латвия	3	1978	64	СТС	2,5	410	1500	50	••
90	Чебоксарская ГЭС	Россия	14	1981	78	СТС	2,5	345	1185	50	••
91	Джердап II ГЭС	Югославия	4	1982	27	СТС	2,5	185	2110	20	••
92	Спандарянская ГЭС	Армения	2	1982	38	СТС	2,5	140	900	50	•
93	Майнская ГЭС	Россия	3	1983	107	СТС	2,5	448	1860	50	•
94	Верхне-Териберская ГЭС	Россия	1	1983	130	СТС	2,5	260	1600	50	•
95	Саяно-Шушенская ГЭС	Россия	1	1984	640	СТС	2,5	530	3500	30	••

Продолжение приложения А
Продолжение таблицы А.1

№ п/п	Название станции	Страна	Кол-во систем	Год выпуска	Мощность генератора, МВт	Тип системы	Коэф. форсир. по напряжению	Ном. напряжение возбуждения, В	Ном. ток возбуждения, А	Длительность форсировки, с	Охлажд. тиристоров
97	Шульбинская ГЭС	Казахстан	6	1987	117	СТС	2,5	430	1660	50	•
98	Нижегородская ГЭС	Россия	8	1989	57,2	СТС	2,5	420	1620	50	•
99	Воткинская ГЭС	Россия	10	1989	100	СТС	2,5	390	2000	50	•
100	Бурджарская ГЭС	Узбекистан	1	1990	3,8	СТС	2,0	130	600	50	•
101	Капанда ГЭС	Ангола	2	1991	130	СТС	2,5	240	1500	50	•
102	Верхне-Свирская ГЭС	Россия	4	1991	40	СТС	2,5	435	1600	50	•
103	Бхакра ГЭС	Индия	5	1992	157	СТС	2,5	230	1890	50	•
104	Волховская ГЭС	Россия	8	1993	12	СТС	2,5	190	915	50	•
105	ТЭЦ-5 Ленэнерго	Россия	1	1993	220	СТС	2,5	275	3200	20	••
106	Рыбинская ГЭС	Россия	1	1994	63,2	СТС	2,5	505	1470	50	•
107	Мингечаурская ГЭС	Азербайджан	2	1996	70,4	СТС	2,5	280	1170	50	•
108	Ниуил IV ГЭС	Аргентина	1	1996	31,2	СТС	2,0	230	730	20	•
109	Северо-Западная ТЭЦ	Россия	2	1996	160	СТС	2,5	275	1900	20	•
110	Йошкар-Олинская ТЭЦ	Россия	1	1996	110	СТС	2,5	220	1900	20	•
111	Нижне-Териберская ГЭС	Россия	1	1996	26,5	СТС	2,5	150	945	50	•
112	Еникендская ГЭС	Азербайджан	3	1997	37,5	СТС	1,75	435	1200	20	•••
113	Нижне-Черекская ГЭС	Россия	3	1997	19,3	СТС	2,5	150	900	50	•
114	Туполангская ГЭС	Узбекистан	2	1997	15	СТС	2,5	120	880	50	•
115	Яли ГЭС	Вьетнам	4	1997	180	СТС	3,0	270	2050	50	•••

Продолжение приложения А
Продолжение таблицы А.1

№ п/п	Название станции	Страна	Кол-во систем	Год выпуска	Мощность генератора, МВт	Тип системы	Коэф. форсир. по напряжению	Ном. напряжение возбуждения, В	Ном. ток возбуждения, А	Длительность форсировки, с	Охлажд. тиристоров
117	Нарвская ГЭС	Россия	1	1997	41,6	СТС	2,7	330	1170	50	•
118	Урра I ГЭС	Колумбия	4	1998	83,4	СТС	2,0	300	1870	20	•••
119	Верхне-Тулумская ГЭС	Россия	1	1998	57	СТС	2,5	275	1200	50	•••
120	Минская ТЭЦ-5	Белоруссия	1	1998	320	СТС	2,5	400	4000	20	••
121	Киришская ГРЭС	Россия	1	1998	320	СТС	2,5	340	3500	20	••
122	ТЭЦ-27 Мосэнерго	Россия	1	1998	110	СТС	2,5	180	1730	20	•
123	Цимлянская ГЭС	Россия	2	1998 – 1999	65,6	СТС	2,5	370	1510	50	•
124	Ивановская ГРЭС	Россия	1	1999	110	СТС	2,5	220	1900	20	•
125	Дзержинская ТЭЦ	Россия	1	1999	120	СТС	2,5	296	1830	20	•
126	Тюменская ТЭЦ	Россия	1	1999	160	СТС	2,5	270	1900	20	•••
127	Калирая ГЭС	Филиппины	2	1999	17,5	СТС	2,0	130	850	10	•
128	Ботокан ГЭС	Филиппины	2	2000	10,7	СТС	2,5	130	850	10	•
129	Нижнетагильская ТЭЦ	Россия	1	2000	40	СТС	2,5	200	1000	20	•••
130	Кузнецкая ТЭЦ	Россия	1	2000	36	СТС	2,5	200	1000	20	•••
131	Мелити-Ахлада ТЭС	Греция	1	2000	330	СТС	2,5	470	2580	20	••
132	ТЭЦ АО «Уралметпром»	Россия	1	2000	25	СТС	2,5	200	1000	20	•••
133	Сибирский ХК	Россия	1	2000	100	СТС	2,5	210	1600	20	•••
134	Мингечаурская ГЭС	Азербайджан	1	2000	70,4	СТС	2,5	320	1400	50	•••
135	Тюменская ТЭЦ	Россия	1	2000	160	СТС	2,5	270	1900	20	•••
136	Нижнетагильский МК	Россия	1	2001	40	СТС	2,5	200	1000	20	•••

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

№ п/п	Название станции	Страна	Кол-во систем	Год выпуска	Мощность генератора, МВт	Тип системы	Коэф. форсир. по напряжению	Ном. напряжение возбуждения, В	Ном. ток возбуждения, А	Длительность форсировки, с	Охлажд. тиристоров
138	Невинномысская ГРЭС	Россия	1	2001	110	СТС	2,5	200	2000	20	...
139	Челябинский МК	Россия	1	2001	40	СТС	2,5	210	1100	20	...
140	Красноярская ГЭС	Россия	1	2001	500	СТС	2,8	675	4400	20	...
141	Аль-Адаим ГЭС	Ирак	2	2001	13,4	СТС	2,5	210	630	20	...
142	Балхашская ТЭЦ	Казахстан	1	2002	400	СТС	2,5	210	1100	20	...
143	Бурейская ГЭС	Россия	1	2002	335	СТС	2,5	425	2100	50	...
144	Волжская ГЭС	Россия	1	2002	115	СТС	2,5	420	2100	50	•
145	Джесказганская ТЭЦ	Казахстан	1	2002	40	СТС	2,5	210	1100	20	...
146	Капанда ГЭС	Ангола	2	2002	130	СТС	2,5	240	1500	50	...
147	Красноярская ГЭС, агр. № 6	Россия	1	2002	500	СТС	2,8	675	4400	20	...
148	МК «Запорожсталь»	Украина	1	2002	36	СТС	2,5	200	1000	20	...
149	Нововоронежская АЭС	Россия	1	2002	220	СТС	2,5	360	3000	20	...
150	НПП «Машпроект»	Украина	1	2002	110	СТС	2,5	200	2000	20	...
151	Харта ГЭС	Ирак	2	2002	200	СТС	1,6	500	3500	20	•
152	Бурейская ГЭС	Россия	3	2003	335	СТС	3,5	425	2100	50	...
153	Тхак-Ба ГЭС	Вьетнам	1	2003	40	СТС	2,5	240	1100	50	...
154	Волжская ГЭС, агр. № 2	Россия	1	2003	115	СТС	2,5	420	2100	50	•
155	Красноярская ГЭС, агр. № 8	Россия	1	2003	500	СТС	2,8	675	4400	20	...
156	Калининградская ТЭЦ	Россия	1	2003	160	СТС	2,0	270	1900	20	...
157	Остров Кос ДЭС	Греция	2	2004	16,5	СТС	3,2 (по току)	236	400	5	•
158	Красноярская ГЭС, агр. № 7	Россия	1	2004	500	СТС	2,8	675	4400	20	...

Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

№ п/п	Название станции	Страна	Кол-во систем	Год вы-пуска	Мощность генератора, МВт	Тип системы	Коэф. форсир. по напряжению	Ном. напряжение возбуждения, В	Ном. ток возбуждения, А	Длительность форсировки, с	Охлажд. тиристоров
161	Северо-Западная ТЭЦ	Россия	1	2004	160	СТС	2,5	270	1900	20	•••
162	Асуанская ГЭС	Египет	2	2004	200	СТС (ВГ)	2,0	130	730	10	•••
163	ГЭС Сесан 3	Вьетнам	1	2004	130	СТС	2,5	315	1480	50	•••
164	Камская ГЭС	Россия	2	2004	25	СТС	2,5	220	1200	50	•
165	Калининградская ТЭЦ	Россия	2	2004	160	СТС	2,5	270	1900	20	•••
166	Ленинградская АЭС	Россия	4	1977 – 1981	500	СБД	2,0	482	3590	20	•
167	Костромская ГРЭС	Россия	1	1978	1200	СБД	2,0	515	7530	10	•
168	Южно-Украинская АЭС	Украина	3	1980 – 1986	1000	СБД	2,0	400	7580	15	•
169	Калининская АЭС	Россия	3	1981 – 1988	1000	СБД	2,0	400	7580	15	•
170	Ровенская АЭС	Украина	2	1983 – 1989	1000	СБД	2,0	400	7580	15	•
171	Запорожская АЭС	Украина	6	1983 – 1994	1000	СБД	2,0	400	7580	15	•
172	Балаковская АЭС	Россия	4	1984 – 1988	1000	СБД	2,0	400	7580	15	•
173	Козлодуй АЭС	Болгария	2	1986 – 1987	1000	СБД	2,0	435	7000	15	•
174	Хмельницкая АЭС	Украина	2	1986 – 1988	1000	СБД	2,0	400	7580	15	•
175	Ростовская АЭС	Россия	2	1986 – 1990	1000	СБД	2,0	400	7580	15	•
176	Саранская ТЭЦ	Россия	1	1996	60	СБД	2,0	207	904	30	•
177	Магнитогорский МК	Россия	1	1997	25	СБД	2,0	160	980	30	•
178	АО «Глинозем»	Россия	1	1997	25	СБД	2,0	160	980	30	•
179	Тверская ТЭЦ	Россия	1	1997	25	СБД	2,0	160	980	30	•

Окончание приложения А

Окончание таблицы А.1

№ п/п	Название станции	Страна	Кол-во систем	Год выпуска	Мощность генератора, МВт	Тип системы	Коэф. форсир. по напряжению	Ном. напряжение возбуждения, В	Ном. ток возбуждения, А	Длительность форсировки, с	Охлажд. тиристор
181	ТЭЦ-7 Ленэнерго	Россия	1	1997	60	СБД	2,0	246	1078	30	•
182	Палонча ТЭС	Индия	1	1998	50	СБД	2,0	212	935	20	•
183	Котовская ТЭЦ	Россия	1	1998	25	СБД	2,0	160	980	30	•
184	ТЭЦ-15 Ленэнерго	Россия	1	1998	25	СБД	2,0	160	980	30	•
185	ТЭЦ-20 Мосэнерго	Россия	1	1998	36	СБД	2,0	171	862	30	•
186	Тамбовская ТЭЦ	Россия	1	1998	50	СБД	2,0	211	923	30	•
187	Освал ТЭС	Индия	2	1998 – 1999	55	СБД	2,0	227	993	30	•
188	Ллойд-Стил	Индия	1	1999	40	СБД	2,0	190	964	30	•
189	ТЭЦ Лабытнанги	Россия	3	1999	12	СБД	2,0	110	373	30	•
190	Новолипецкий МК	Россия	2	1999	60	СБД	2,0	207	904	30	•
191	ТЭЦ-17 Мосэнерго	Россия	1	2000	50	СБД	2,0	211	923	20	•
192	ТЭЦ-20 Мосэнерго	Россия	1	2000	36	СБД	2,0	171	863	30	•
193	Кузнецкий МК	Россия	1	2000	36	СБД	2,0	176	888	30	•
194	Магнитогорский МК	Россия	1	2000	40	СБД	2,0	185	935	30	•

ПРИМЕЧАНИЯ:

- естественное воздушное охлаждение;
- охлаждение дистиллированной водой;
- принудительное воздушное охлаждение

АББРЕВИАТУРА:

СТС-Р системы тиристорные самовозбуждения реверсивные по току
(для асинхронизированных турбогенераторов)

539 тиристорных систем возбуждения производства «Электросилы» установлены на 196 электростанциях тридцати двух стран мира. 248 систем типа СТН, 181 система – СТС, 85 систем – СБД, 3 системы – СДН, 5 систем – АРВ-М, 17 систем – СТСП, 1 – СВР и 1 – СТС-Р.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Референц-лист:
системы возбуждения НПО «ЭЛСИБ» ПАО

Таблица Б.1 – Референц-лист: системы возбуждения НПО «ЭЛСИБ» ПАО

№ п/п	Название станции	Страна	Кол-во систем	Номер системы	Год выпуска	Тип, мощность генератора, МВт	Тип системы *	Номинальное напряжение возбуждения, В	Ном. ток возбуждения, А	Длительность форсировки, с	Охлаждение тиристоров	Год ввода в эксплуатацию
1	ТЭЦ-11 Мосэнерго ст. №10	Россия	1	№2	11. 2000	ТВФ-110	СТС-350-2000-2,5-10,5-1-РВ УХЛ4	350	2000	20	принуд. возд	12. 2001
2	ТЭС "Костолац"	Югославия	1	№3	11. 2000	ТВФ-110	СТС-350-2000-2,5-10,5-1 УХЛ4	350	2000	20	принуд. возд	05. 2007
3	Якутская ГРЭС ст. № 3	Россия	1	№4	02.2001	ТВФ-63	СТСГ-250-2100-2,5-10,5-1-РВ УХЛ4	250	2100	20	принуд. возд	11. 2004
4	ТЭЦ-22 Мосэнерго	Россия	1	№5	07.2001	ТВФ-110	СТС-350-2000-2,5-10,5-1-РВ УХЛ4	350	2000	20	принуд. возд	11. 2001
5	Новосибирская ГЭС ст. №4	Россия	1	№7	08.2001	СВ1343/140 – 96, 65 МВт	СТС-КНФР-400-2000-2,5-13,8-1 УХЛ4	400	2000	50	принуд. возд.	04. 2005
6	Якутская ГРЭС ст. 4	Россия	1	№6	01.2002	ТВФ-63	СТСГ-250-2100-2,5-10,5-1-РВ УХЛ4	250	2100	20	принуд. возд	12. 2005
7	Гиссаракская ГЭС ст. 1	Узбекистан	1	№8	06.2002	СВ 335/121-12УХЛ4, 22,5 МВт	СТС-КНФ-120-1100-2,5-10,5УХЛ4	120	1100	50	ест. возд.	03.2011
8	Гиссаракская ГЭС ст. 2	Узбекистан	1	№9	08.2002	СВ 335/121-12УХЛ4, 22,5 МВт	СТС-КНФ-120-1100-2,5-10,5УХЛ4	120	1100	50	ест. возд.	03.2011
9	Южно-Кузбасская ГРЭС	Россия	1	№10	08. 2003	ТФ-110	СТС-КНФР-330-1500-2,5-10,5-1Е РВ УХЛ4	330	1500	20	ест. возд.	
10	Вилюйская ГЭС-3 ст.№1	Россия	1	№14	07. 2004	СВ 1280/145-68 УХЛ4, 90 МВт	СТС-КНФ-300-1600-2,5-13,8-1Е УХЛ4	300	1600	50	ест. возд.	11. 2004
11	ТЭЦ -28 Мосэнерго	Россия	1	№12	12. 2004	ТФ-63	СТС-КНФ-220-1200-2,5-10,5-1УХЛ4	220	1200	20	принуд. возд.	12. 2007
12	Новосибир-ская ТЭЦ-3	Россия	1	№15	12. 2004	ТВФ-110	СТС-КНФР-350-2000-2,5-10,5-1РВ УХЛ4	350	2000	20	принуд. возд	03. 2005
13	ТЭЦ "АО Алуминий Казахстана"	Казахстан	1	№18	07. 2005	ТФ-63	СТС-КНФР-220-1200-2,5-10,5-1Е-РВ УХЛ4	220	1200	20	ест. возд	12. 2005
14	ТЭЦ-2 г.Астана ст.№5	Казахстан	1	№19	09. 2005	ТФ-125	СТС-КНФР-330-1500-2,5-10,5-1Е-РВУХЛ4	330	1500	20	ест. возд	12. 2006
15	ТЭЦ СХК г.Северск	Россия	1	№20	12. 2005	ТФ-110	СТС-КНФР-330-1500-2,5-10,5-1Е-РВУХЛ4	330	1500	20	ест. возд.	03. 2010

Продолжение приложения Б

Продолжение таблицы Б.1

№ п/п	Название станции	Страна	Кол-во систем	Номер системы	Год выпуска	Тип, мощность генератора, МВт	Тип системы *	Номинальное напряжение возбуждения, В	Ном. ток возбуждения, А	Длительность форсировки, с	Охлаждение тиристоров	Год ввода в эксплуатацию
16	ТЭЦ-21 Мосэнерго	Россия	1	№21	12. 2005		2,5–10,5–1-РВДУХЛ4					
17	Новосибирская ГЭС ст.№5	Россия	1	№22	03. 2005	СВ 1343/140 – 96 65 МВт	СТС-КНФР-400-2000-2,5-13,8-1 УХЛ4	400	2000	50	принуд. возд.	06. 2006
18	ТЭЦ-2 г. Ярославль	Россия	1	№23	07. 2006	ТВФ-110	СТС–КНФР-350-2000-2,5–10,5–11П-РВУХЛ4	350	2000	20	принуд. возд.	03. 2007
19	ТЭЦ-ПВС ОАО «Север-сталь» ст.№6	Россия	1	№25	08. 2006	ТФ-63	СТС–КНФР-220-1200-2,5–10,5–11П-РВУХЛ4	220	1200	20	принуд. возд.	09. 2009
20	ТЭЦ-3 г.Минск	Белоруссия	1	№26	06. 2007	ТФ-80	СТС-КНФР-200-1200-2,5-10,5-11П УХЛ4	200	1200	20	принуд. возд.	02. 2009
21	Челябинская ТЭЦ-2	Россия	1	№27	07. 2007	ТФ-125	СТС–КНФР-330-1500-2,5–10,5–11Е-УХЛ4	330	1500	20	ест. возд.	12.2010
22	Томская ГРЭС-2	Россия	1	№28	10.2007	ТФ-63	СТС-КНФР-220-1200-2,5-10,5-11Е-РВ УХЛ4	220	1200	20	ест. возд.	12. 2009
23	Выборгская ТЭЦ-17	Россия	1	№29	06. 2008	ТФ-125	СТС–КНФР-330-1500-2,5–10,5–11Е- РВ УХЛ4	330	1500	20	ест. возд.	05. 2009
24	Цимлянская ГЭС ст.№4	Россия	1	№30	02.2009	СВ-1030/ 120 – 68 52,5 МВт	СТС–КНФР-360-1320-2,5–10,5–11М-Е УХЛ4	360	1320	50	ест. возд.	10.2012
25	Кировская ТЭЦ-3 ст. №6	Россия	1	№31	08.2009	ТФ-63	СТС-КНФР-220-1200-2,5-10,5-11-П –РВ УХЛ4	220	1200	20	принуд. возд.	01.2010
26	Улан-Удэнская ТЭЦ-1 ст. №7	Россия	1	№32	09.2009	ТФ-110	СТС–КНФР-330-1500-2,5–10,5–11Е- РВ УХЛ4	330	1500	20	ест. возд.	03.2011
27	Краснодарская ТЭЦ	Россия	1	№33	12.2009	ТФ-160	СТС-КНФР-350-1500-2,5-15,75-11М-Е УХЛ4	350	1500	20	ест. возд.	11.2012
28	ТЭЦ-3 Павлодар-Энерго ст.№1	Казахстан	1	№35	03.2010	ТФ-63	СТС-КНФР-200-1200-2,5-10,5-11-П –РВ УХЛ4	200	1200	20	принуд. возд.	05.2012
29	Березовская ГРЭС	Белоруссия	1	№34	09.2009	ТВФ-180	СТС-КНФР-400-1500-2,5-15,75-11М-Е-РВ УХЛ4	400	1500	20	ест. возд.	08.2014
30	Улан-Удэнская ТЭЦ-1 ст.№6, ст.№7	Россия	1	№37	01.2010		СВТР-330-1500-2-6-П УХЛ4	330	1500	20	принуд. возд.	03.2010
31	Филиал Передвижн. Электростан	Россия	1	№1 БЩВ	01.2005	Т-16	КБСВ-135-605-2-6,3 УХЛ4	135	605	20	ест. возд.	10.2007
32	Нижнекамская ТЭЦ ст.№10	Россия	2	№16	11.2008	ТВФ-120	МСРВ-120 УХЛ4 (Модернизация высокочастотной системы возбуждения)	130	2 x 15	20	ест. возд.	
33	ст. №11			№27								

Продолжение приложения Б

Продолжение таблицы Б.1

№ п/п	Название станции	Страна	Кол-во систем	Номер системы	Год выпуска	Тип, мощность генератора, МВт	Тип системы *	Номинальное напряжение возбуждения, В	Ном. ток возбуждения, А	Длительность форсировки, с	Охлаждение тиристорov	Год ввода в эксплуатацию
35	ТЭЦ-2 АО «Астана-Энергия»ст.№5	Казахстан	1	№41	08.2011	ТФ-125	СТС-КНФР-330-1500-2,5-10,5-11Е-РВ УХЛ4	330	1500	20	ест. возд.	06. 2015
36	ТЭЦ-2 АО «Астана-Энергия»	Казахстан	1	№42	12.2011	ТФ-125	СВТР-330-1500-2-6-П УХЛ4	330	1500	20	принуд. возд.	06. 2015
37	ТЭЦ-3 Павлодар-Энерго Ст.№2	Казахстан	1	№66	08.2013	ТФ-80	СТС-КНФР-220-1375-2,5-6,3-11 М2-П-РВ УХЛ4	220	1375	20	принуд. возд.	06.2015
38	ТЭЦ-3 Павлодар-Энерго Ст.№5	Казахстан	1	№67	12.2013	ТФ-125	СТС-КНФР-330-1500-2,5-10,5-11М2-П -РВ УХЛ4	330	1500	20	принуд. возд.	12.2014
39	Кызылординская ТЭЦ-6	Казахстан	1	№4	12.2013	ТФ-32-2	КБСВ-145-950-2-6,3 УХЛ4	145	950	20	ест.	12.2014
40	Аргаяшская ТЭЦ	РФ	1	№69	05.2014	ТФ-65-2	СТС-КНФР-220-1200-2,5-10,5-11М2-П -РВ УХЛ4	220	1200	20	принуд. возд.	03.2018
41	ТЭЦ-2 АО «Астана-Энергия» ст.№6	Казахстан	1	№70	09.2014	ТФ-125	СТС-КНФР-330-1500-2,5-10,5-11М2-П -РВ УХЛ4	330	1500	20	принуд. возд.	
42	ТЭЦ-3 Павлодар-Энерго Ст.№4	Казахстан	1	№71	12.2014	ТФ-125	СТС-КНФР-330-1500-2,5-10,5-11М2-П -РВ УХЛ4	330	1500	20	принуд. возд.	11.2015
43	ТЭЦ-3 Павлодар-Энерго Ст.№6	Казахстан	1	№75	03.2016	ТФ-125	СТС-КНФР-330-1500-2,5-10,5-11М2-П -РВ УХЛ4	330	1500	20	принуд. возд.	
44	Челябинская ТЭЦ-2 Ст.№2	РФ	1	№72	12.2015	ТФ-60	СТС-КНФР-220-1200-2,5-10,5-11М2-П -РВ УХЛ4	220	1200	20	принуд. возд.	06.2017
45	Сахалинская ГРЭС-2 Ст. №1	РФ	2	№73	02.2016	ТФ-63	СТС-КНФР-200-1200-2,5-10,5-11М2-П УХЛ4	200	1200	20	принуд. возд.	
46	Сахалинская ГРЭС-2 Ст.№2	РФ	2	№74	03. 2016	ТФ-63	СТС-КНФР-200-1200-2,5-10,5-11М2-П УХЛ4	200	1200	20	принуд. возд.	
47	Прегольская ТЭС Ст.№1 г. Калининград Ст.№1	РФ	4	№76	08.2016	ТФ-90Г	СТНГ-КНФР-250-1500-2,5-6-11М-П УХЛ4	250	1500	20	принуд. возд.	06.2018
48	Ст.№2			№81								

Окончание приложения Б

Окончание таблицы Б.1

№ п/п	Название станции	Страна	Кол-во систем	Номер системы	Год выпуска	Тип, мощность генератора, МВт	Тип системы *	Номинальное напряжение возбуждения, В	Ном. ток возбуждения, А	Длительность форсировки, с	Охлаждение тиристоров	Год ввода в эксплуатацию
51	Маяковская ТЭС г.Гусев Ст.№1	РФ	2	№77	08.2016	ТФ-90Г	СТНГ-КНФР-250-1500-2,5-6-11М-П УХЛ4	250	1500	20	принуд. возд.	12.2017
52	Ст.№2			№79	11.2016							01.2018
53	Талаховская ТЭС г.Советск Ст.№1	РФ	2	№78	10.2016	ТФ-90Г	СТНГ-КНФР-250-1500-2,5-6-11М-П УХЛ4	250	1500	20	принуд. возд.	01.2018
54	Ст.№2			№80	12.2016							02.2018
55	ТЭЦ-ПВС НЛМК	РФ	1	№5	12.2016	ТФ-60	КБСВ-200-1100-2 УХЛ4 ШБСВ-03	200 60	1100 25	20 20	Естест.	02.2018
56	Приморская ТЭС Ст.№1	РФ	3	№85	05.2017	ТФ-65	СТС-КНФР-220-1200-2,5-6,3-11М-П УХЛ4	220	1200	20	принуд. возд.	
57	Ст.№2			№86	08.2017							
58	Ст.№3			№87	11.2017							
59	Барабинская ТЭЦ	РФ	1	№6	08.2017	ТФР-32-2	ШБСВ-03	40В	20А	20	Естест	09.2017
60	Гродненская ТЭЦ-2	Белоруссия	1	№84	07.2017	ТФ-70Н-2У3	СТС-КНФР-210-1300-2,5-6,3-11М-П -РВУХЛ4	210	1300	20	принуд. возд.	
61	ТЭЦ-22 Мосэнерго ст.№2	РФ	1	№88	11. 2017	ТФ-80-2У3	СТС-КНФР-220-1375-2,5-10,5-11М-П -РВУХЛ4	220	1375	20	принуд. возд.	
62	ЦЭС ПАО «ММК» Ст.№6	РФ	1	№89	03.2018	ТФ-65-2У3	СТС-КНФР-160-1550-2,5-10,5-11М-П -РВУХЛ4	160	1200	20	принуд. возд.	
63	Красноярская ТЭЦ-3 ст. №1	РФ	1	№91	06.2018	ТВФ-220-2У3	СТС-КНФР-455-1775-2,5-15,75-11М-П -РВ УХЛ4	455	1775	20	принуд. возд.	
64	Красноярская ТЭЦ-3	РФ	1	№92	06.2018	ТВФ-220-2У3	СВТР- 455-1775-2-6,3-П УХЛ4	455	1775	20	принуд. возд.	
65	Минская ТЭЦ-3	Белоруссия	1	№90	07.2018	ТФ-125-2У3	СТС-КНФР-330-1500-2,5-10,5-11М-П -РВ УХЛ4	330	1500	20	принуд. возд.	

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Коротков М.В.


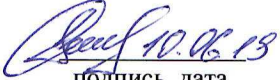
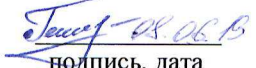
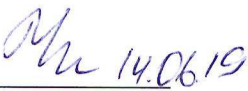
подпись инициалы, фамилия

« 14 » июня 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тиристорные системы возбуждения гидрогенераторов. Модернизация существующих систем и комплексные испытания при вводе в эксплуатацию

13.04.02.06. Гидроэлектростанции
13.04.02. Электроэнергетика и электротехника

Руководитель	 <u>12.06.19</u> подпись, дата	<u>Инженер участка ТАиВ</u> <u>СРЗАиМ филиала ПАО</u> <u>«РусГидро» - «Саяно-</u> <u>Шушенская ГЭС имени П.С.</u> <u>Непорожнего»</u> должность	<u>Е.А. Хлыстов</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 <u>10.06.19</u> подпись, дата		<u>А.А. Рябченко</u> инициалы, фамилия
Рецензент	 <u>08.06.19</u> подпись, дата	<u>Начальник смены станции</u> <u>Оперативной службы</u> <u>филиала ПАО «РусГидро»-</u> <u>«Саратовская ГЭС»</u> должность	<u>В.В.Гринимаев</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролёр	 <u>14.06.19</u> подпись, дата		<u>А.А. Чабанова</u> инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2019