

На правах рукописи

Токарев Иван Сергеевич

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ
ЭНЕРГОАГРЕГАТОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД
ГАЗОКОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ**

Специальность 05.14.02 – Электрические станции и
электроэнергетические системы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Хрущев Юрий Васильевич

Официальные оппоненты: **Сальников Василий Герасимович**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет водного транспорта» (г. Новосибирск), профессор кафедры электроэнергетических систем и электротехники.

Фишов Александр Георгиевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» (г. Новосибирск), заведующий кафедрой автоматизированных электроэнергетических систем.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск

Защита диссертации состоится «12» октября 2016 г. в 16³⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.10 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 55 и на сайте: <http://portal.tpu.ru/council/2800/worklist>

Автореферат разослан «23» августа 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д212.269.10

Кабьшев А.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность избранной темы. Развитие газотранспортной системы страны опережает развитие магистральных электрических сетей, и поэтому подключение объектов транспорта газа к централизованным сетям не всегда представляется возможным. В этих случаях единственным вариантом генерации электрической энергии являются автономные электростанции.

При параллельной работе нескольких энергоагрегатов возникают аварийные ситуации, связанные с нарушением устойчивости. Существует вероятность потери устойчивости вследствие действия малых колебаний, то есть устойчивости «в малом». Нарушение устойчивости «в малом» может произойти из-за несоответствия настроек автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) некоторым режимам работы системы электроснабжения, из-за применения нетиповых оперативных схем и по другим причинам.

Одной из причин пониженной надёжности электроснабжения потребителей газокompрессорных станций (ГКС) является несоответствие типовых схем автономных электроэнергетических систем (АЭЭС) собственных нужд требованию обеспечения двухстороннего электропитания для ответственных потребителей. Энергоагрегаты, включённые параллельно на генераторном напряжении, образуют двухсекционную электростанцию, которая является единственным источником электропитания для всех потребителей ГКС. Альтернативным решением является использование нетиповой оперативной схемы АЭЭС с объединением секций электростанции на параллельную работу по электрическим связям низшего напряжения. Однако для такого решения требуется обоснование, прежде всего, с позиций сохранения динамической устойчивости и устойчивости «в малом» параллельной работы энергоагрегатов.

Степень разработанности. Методология анализа динамической устойчивости электроэнергетических систем (ЭЭС) к настоящему времени хорошо отработана. Методология анализа устойчивости «в малом» ЭЭС находится в стадии развития. Необходимость развития обусловлена высокими требованиями к точности используемых математических моделей элементов ЭЭС с одной стороны

и, с другой стороны, соответствующей сложностью линеаризации уравнений этих математических моделей.

Цель работы. Целью диссертационной работы является обоснование технической эффективности и устойчивости параллельной работы энергоагрегатов электростанций собственных нужд газокompрессорных станций при их объединении на параллельную работу по электрическим связям низшего напряжения.

Для достижения цели решались следующие **задачи**:

- детальный анализ аварийных перерывов электроснабжения потребителей ГКС повышенной длительности;

- оценочный анализ устойчивости параллельной работы энергоагрегатов электростанций собственных нужд ГКС при их объединении по электрическим сетям низшего напряжения;

- разработка методики построения режимных амплитудно-фазовых частотных характеристик (АФЧХ) ЭЭС по замкнутому и разомкнутому контурам без линеаризации уравнений исходной математической модели с использованием программных вычислительных комплексов (ПВК);

- разработка методики определения устойчивости «в малом» ЭЭС по критерию Найквиста с использованием режимных АФЧХ ЭЭС;

- исследование устойчивости «в малом» АЭЭС ГКС с использованием программно-аппаратного комплекса (ПАК) RTDS.

Методология и методы исследования. Поставленные задачи решались на основе анализа реальных эксплуатационных данных, применения методов теории электрических машин, теории электромеханических переходных процессов в ЭЭС и теории автоматического управления (ТАУ) с использованием ПВК и натуральных средств моделирования исследуемых процессов.

Положения, выносимые на защиту.

1. Обоснование применимости критерия Найквиста для анализа устойчивости «в малом».

2. Обоснование применимости оперативных схем электроснабжения ГКС с соединением генераторов по сети напряжением 0.4 кВ.

3. Методика исследования устойчивости в малом АЭЭС ГКС с использованием ПАК RTDS.

4. Обоснование отсутствия ограничений по устойчивости «в малом» для подключения энергоблоков отечественного производства с энергоблоками импортного производства на параллельную работу в АЭЭС ГКС.

Научную новизну имеют следующие положения, выносимые на защиту.

1. Обоснование технической осуществимости и технической эффективности применения оперативных схем АЭЭС собственных нужд ГКС с объединением энергоагрегатов на параллельную работу по электрическим связям низшего напряжения.

2. Методика построения режимных АФЧХ разомкнутых и замкнутых систем без линеаризации исходных уравнений математических моделей электроэнергетических систем.

3. Методика анализа устойчивости «в малом» по критерию Найквиста с использованием режимных АФЧХ электроэнергетических систем.

4. Методика построения режимных АФЧХ по математическим моделям АЭЭС ГКС с использованием ПАК RTDS.

Достоверность научных результатов подтверждена положительными результатами сравнительного анализа предлагаемой методики с классическими методиками исследования устойчивости «в малом» ЭЭС, положительными результатами сравнения моделируемых и реальных процессов, происходящих в АЭЭС ГКС, применением сертифицированных ПВК и ПАК для проведения вычислительных экспериментов и моделирования процессов.

Теоретическая и практическая значимость. Результаты диссертационной работы предоставляют возможность решать следующие теоретические и практические задачи:

-разработанная схема электроснабжения, обеспечивающая двухстороннее электропитание нагрузки, может быть применена на многих АЭЭС ГКС;

-результаты исследований могут быть использованы в ПАО «Газпром» для проектирования новых более надёжных и экономичных АЭС ГКС;

-разработанная методика анализа устойчивости «в малом» позволяет обосновывать необходимую перенастройку систем автоматического управления оборудованием АЭС ГКС с целью обеспечения устойчивости и надёжности их работы.

Личный вклад автора. Автором диссертации выполнены расчётные и экспериментальные работы при разработке методики построения режимных АФЧХ ЭЭС, используемых для анализа устойчивости «в малом» по критерию Найквиста, без линеаризации уравнений исходной математической модели. Апробация методики осуществлена с применением ПАК RTDS для решения реальных задач по повышению надёжности и экономичности АЭС ГКС. В совместных публикациях вклад автора составляет более 50%.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались, обсуждались и демонстрировались на международных, всероссийских и университетских конференциях, конференциях ПАО «Газпром», форумах и семинарах: XIII конференции молодых руководителей и специалистов «Инновационный потенциал молодежи – путь к эффективной работе газотранспортного предприятия» ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» (Екатеринбург, 2010), XVII международной научно-практической конференции студентов и молодых учёных «Современные техника и технологии» (Томск, 2011), III научно-практическая конференции молодых ученых и специалистов по теме «Обеспечение эффективного функционирования газовой отрасли» ООО «Газпром добыча Уренгой» (Новый Уренгой, 2012), XVIII международной научно-практической конференции студентов и молодых учёных «Современные техника и технологии» (Томск, 2012), VI научно-практической конференции ООО «Газпром трансгаз Томск» (Томск, 2013), XIV научно-практической конференции молодых руководителей и специалистов «Молодежные инновации повышения эффективности и надёжности транспорта газа» ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» (Екатеринбург, 2013), юбилейной десятой всероссийской

конференции молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности» ПАО «Газпром», РГУ им. И.М. Губкина (Москва, 2013), I международной научно-технической конференции «Современные проблемы электроэнергетики.. - Алтай 2013» (Барнаул, 2013), форуме молодых ученых U-NOVUS (Томск, 2014), XX международной научно-практической конференции студентов и молодых учёных «Современные техника и технологии» (Томск, 2014), V международной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи» (Томск, 2014), конференции молодых специалистов и новаторов производства ООО «Газпром трансгаз Югорск» (Югорск, 2014), XIX международном научном симпозиуме студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2015), VII международной научной конференции молодых ученых «Электротехника. Электротехнология. Энергетика» (Новосибирск, 2015), XI всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России» (Москва, 2016).

Работа была отмечена двумя дипломами I степени, одним дипломом II степени и двумя дипломами лауреата.

Публикации. По результатам выполненных исследований, разработок и их применения, связанных с темой диссертационной работы, опубликовано 18 научных работ, 3 статьи в рецензируемых изданиях перечня ВАК РФ и 15 публикаций в материалах научно-технических конференций, семинаров и форумов.

Структура и объем диссертации. Общий объем представленного диссертационного материала составляет 155 страниц и включает в себя: оглавление, введение, четыре главы, заключение, приложение и список литературы из 131 наименования. Материал диссертационной работы включает 34 рисунка и 17 таблиц.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Во введении на основе краткого анализа возможностей повышения надёжности работы АЭЭС ГКС и недостатков существующих методик анализа устойчивости ЭЭС обоснованы актуальность проблемы и суть решаемых в диссертации задач исследования.

В первой главе представлены результаты общего анализа систем электроснабжения технологических объектов газотранспортной системы России. Показано, что применение автономных источников энергии и распределенной генерации (РГ) в целом происходит не только от отсутствия возможности присоединения к централизованным энергосистемам.

Проблематика развития систем РГ находится в сфере внимания многих организаций и учёных России. Из организаций следует отметить РНК СИГРЭ, ИСЭМ СО РАН, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, ФГБОУ ВО НГТУ и другие. Большой вклад в исследование вопросов РГ внесли Н.И. Воропай, М.Е. Гольдштейн, Ю.А. Липатов, А.А. Карпенко, И.С. Кожуховский, А.В. Паздерин, А.Г. Фишов и другие учёные. В зарубежной практике исследование вопросов РГ проводят К.Nara, J. S. Savier, C. W.Gellings, S.Blazewicz, S. M.Brahma и другие учёные.

В работе отмечено, что известные исследования в области совершенствования систем электроснабжения объектов газотранспортных систем направлены, в основном, на повышение эффективности и оптимизацию работы существующего оборудования без изменения схем электроснабжения объектов.

В качестве исследуемого объекта (полигона исследований) была принята ГКС «Сахалин». Электроснабжение ГКС «Сахалин» осуществляют четыре энергоблока, номинальной мощностью по 1.1 МВт. Энергоблоки образуют электростанцию собственных нужд (ЭСН), являющуюся единственным основным источником электропитания ГКС.

При анализе работы АЭЭС ГКС «Сахалин» отмечено, что многие ЭСН укомплектованы импортным электрооборудованием, математические модели которого отсутствуют, а технические характеристики в сопроводительной

документации представлены с недостаточной полнотой. Эти факторы создают дополнительные сложности для моделирования и исследования при решении конкретных технологических задач. В этих условиях задачу моделирования АЭЭС ГКС можно рассматривать как научно-техническую задачу.

Во второй главе диссертации представлены обоснования применимости схемы включения генераторов АЭЭС ГКС «Сахалин» на параллельную работу по стороне 0,4 кВ. Описана работа АЭЭС с газопоршневыми энергоблоками (электростанциями) Звезда-ГП-1100ВК.

АЭЭС ГКС «Сахалин» имеет два основных нормальных режима работы.

Первый режим – это нормальная работа газоперекачивающих агрегатов (ГПА) и сопутствующего оборудования. В этом режиме общая нагрузка ГКС находится в пределах 1000-1300 кВт. Для обеспечения бесперебойности электроснабжения в этом режиме используются два энергоагрегата.

Второй режим – это поддержание всех систем и технологического оборудования ГКС в состоянии горячего резерва. В таком режиме работы ГПА и их периферийные системы (аппараты воздушного охлаждения газа, компрессоры и т.д.) отключены, а суммарная нагрузка в пиковые часы не превышает 800 кВт. Соответственно, для энергообеспечения этой нагрузки используется один энергоагрегат.

Распределение генераторов по секциям показано на рисунке 1. При схеме работы с постоянно включенным секционным выключателем (СВ) 10 кВ в работе находятся два любых генератора, независимо от места их подключения. Проблемы с устойчивостью параллельной работы генераторов в этих случаях не возникают.

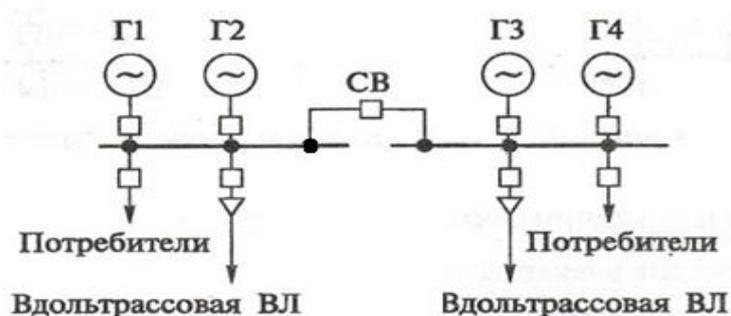


Рисунок 1 – Общая схема ЗРУ – 10 кВ ГКС «Сахалин»

Основной проблемой такой схемы является наличие «по факту» только одного «общего» источника электроснабжения. При работе же с выключенным СВ 10 кВ вопросы, связанные с наличием независимых взаиморезервируемых источников электроснабжения отсутствуют, но появляется повод для изучения возможности параллельной работы генераторов по сети напряжением 0.4 кВ.

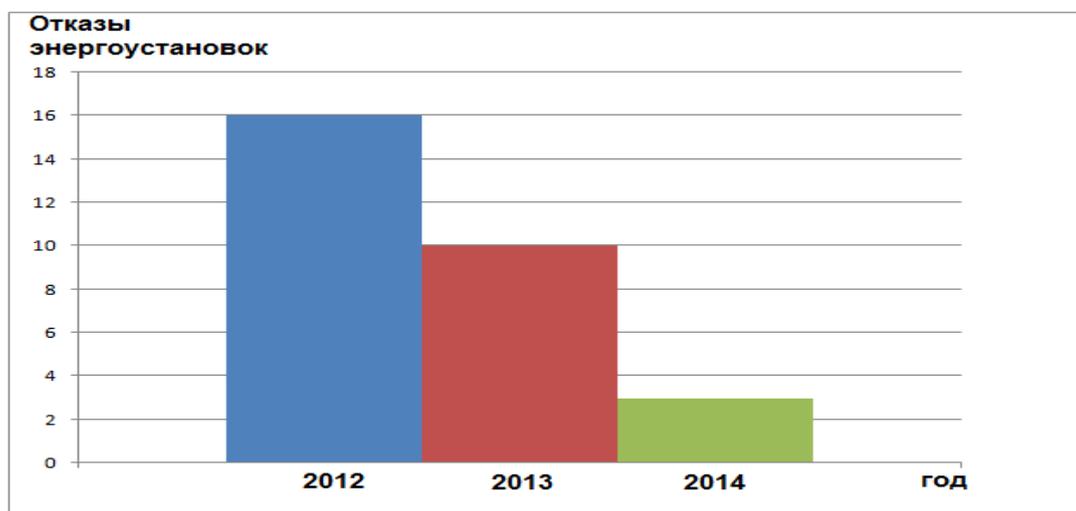


Рисунок 2– Диаграмма отказов энергоагрегатов за 2012-2014 гг.

В результате проведённых инженерно-технических мероприятий по повышению надежности работы АЭЭС ГКС «Сахалин» частота появления отказов и нарушений в работе ЭСН значительно снизилась (см. рисунок 2), однако алгоритм действия автоматики быстрой разгрузки генераторов в аварийных ситуациях сохранился, так как по отношению к действующей проектной схеме коммутаций АЭЭС он является единственно возможным. Недостатком этого алгоритма являются завышенная длительность аварийных перерывов электроснабжения ответственных потребителей.

Для обоснования применимости предлагаемой схемы электроснабжения в диссертации выполнены теоретические и экспериментальные исследования по аспектам ее функционирования.

Натурные исследования показали, что предлагаемая схема АЭЭС ГКС «Сахалин» работоспособна при проведении основных эксплуатационных коммутаций. При этом выполняются все требования, предъявляемые к процедурам проведения коммутационных переключений.

Для углубленного исследования переходных процессов и, в частности, вопросов устойчивости необходимо использовать уточнённые математические модели элементов АЭС ГКС. При этом наиболее точные математические модели требуются для исследований устойчивости «в малом». Возможности использования таких моделей доставляют современные всережимные моделирующие комплексы.

В третьей главе рассмотрена возможность использования критерия Найквиста для исследования устойчивости «в малом» ЭЭС с использованием режимных АФЧХ, получаемых без линеаризации уравнений исходной математической модели.

В целом же можно констатировать, что критерий Найквиста не получил должного развития в задачах исследования устойчивости «в малом» ЭЭС несмотря на целый ряд преимуществ, таких как:

- возможность определения устойчивого состояния ЭЭС экспериментальным образом;
- возможность указания типа корректировки, необходимой для приведения неустойчивой системы в устойчивое состояние;
- простота оценки запаса устойчивости исследуемой ЭЭС;
- многостороннее развитие метода в рамках теории автоматического управления (ТАУ).

Эти достоинства критерия являются достаточным основанием для изучения возможностей его более широкого использования в задачах исследования устойчивости «в малом» современных ЭЭС и, в частности, АЭС.

Для демонстрации применимости критерия Найквиста к исследованию устойчивости «в малом» выбрана одномашинная модель ЭЭС (рисунок 3), синхронный генератор которой оборудован автоматическим регулятором возбуждения сильного действия (АРВ СД), выполненным соответственно структурной схеме, изображенной на рисунке 4.

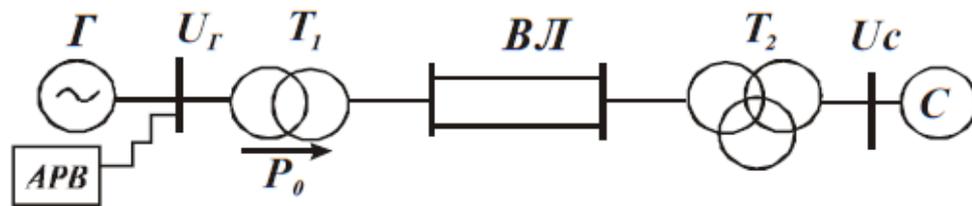


Рисунок 3 – Схема одномашинной модели энергосистемы

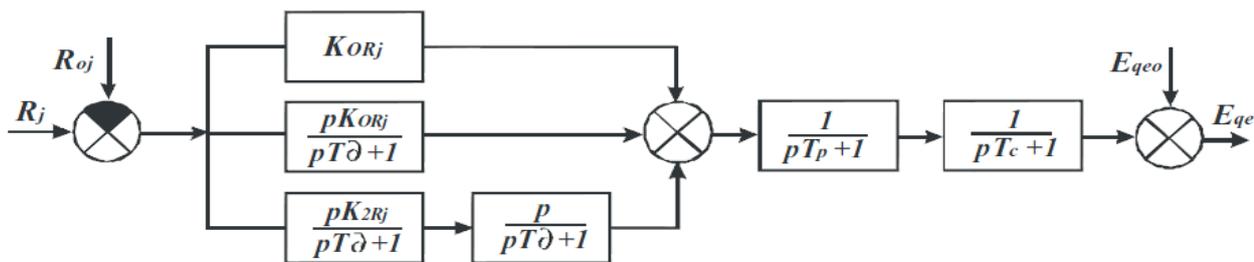


Рисунок 4 – Структурная схема АРВ СД

Математическое описание процессов в элементах модели энергосистемы представлено упрощенными уравнениями, приемлемыми для рассмотрения демонстрационных задач расчета устойчивости «в малом».

Процедуру численного построения АФЧХ ЭЭС по исходной математической модели в общем случае составляют следующие действия:

- численное решение нормальной системы дифференциальных уравнений при гармоническом возмущении входного режимного параметра и фиксации изменений выходного режимного параметра;
- определение амплитуды и фазы вектора АФЧХ при изменении, в актуальном диапазоне, частоты;
- графическое построение АФЧХ.

Основные уравнения переходных процессов одномашинной модели ЭЭС (см. рисунки 3, 4) в операторной форме имеют вид:

$$\frac{T_j}{\omega_c} p^2 \delta = P_T - P ; \tag{1}$$

$$E_q = E_{qe} + E_{qcv} ; \tag{2}$$

$$E_{qcv} = -T_{d0} p E'_q ; \tag{3}$$

$$E_{qe} = E_{qe0} + \frac{1}{(pT_e + 1)(pT_p + 1)} \sum_j \left[K_{0Rj} + \frac{pK_{1Rj}}{pT_\delta + 1} + \frac{p^2 K_{2Rj}}{(pT_\delta + 1)^2} \right] (R_j - R_{0j}). \quad (4)$$

Операции по расчету АФЧХ выполнялись в следующей последовательности:

- при конкретном значении частоты входного сигнала вычисляется функция выходного сигнала;
- на стабильном участке функции измеряется амплитуда выходного сигнала и сдвиг его по фазе относительно входного сигнала;
- определяется отношение амплитуды выходного установившегося сигнала к амплитуде входного сигнала, то есть модуль вектора частотной характеристики при конкретном значении частоты ω .

Совместное изображение синхронизированных функций входного и выходного сигналов показано на рисунке 5. Из рисунка видно, что переход к установившемуся режиму, характеризуемому постоянными значениями амплитуды и фазового сдвига выходного сигнала происходит приблизительно через 10 периодов. Это связано с характером переходного процесса и погрешностями округления, допустимыми для проведения подобных расчетов.

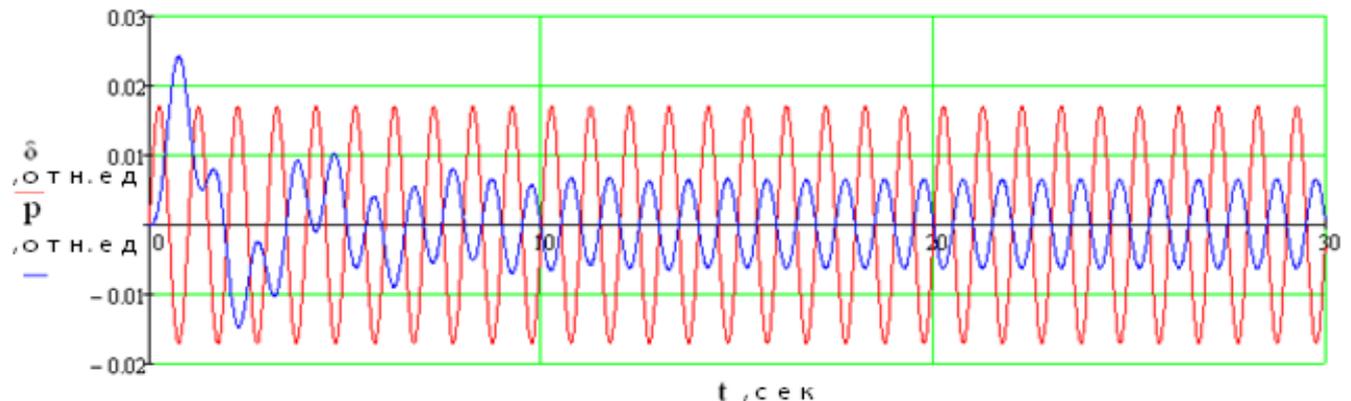


Рисунок 5 – Подача на генератор возмущения, составляющего 3% от расчетного значения номинальной мощности генератора

Пример построенной АФЧХ по замкнутому контуру показан на рисунке 6.

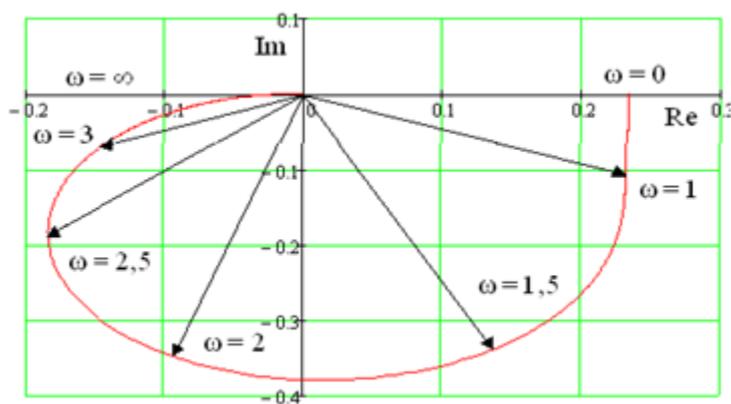


Рисунок 6 – АФЧХ нелинеаризованной модели ЭЭС, ω – Гц.

Для сравнения на рисунке 7 показана АФЧХ для линеаризованной системы уравнений.

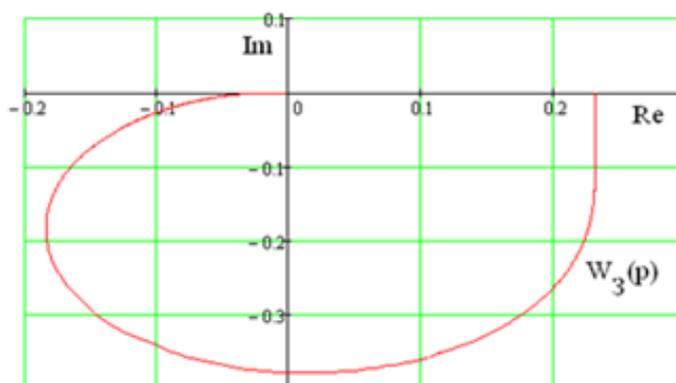


Рисунок 7 – АФЧХ линеаризованной модели ЭЭС, ω – Гц

Погрешности построения режимных АФЧХ по исходным уравнениям находятся в пределах одного процента по амплитуде и одного электрического градуса по фазе, что позволяет сделать вывод о принципиальной их применимости при анализах устойчивости «в малом» ЭЭС.

Передаточная функция разомкнутой системы может быть определена через передаточную функцию замкнутой системы по выражению

$$W_p(j\omega) = \frac{W_3(j\omega)}{1 - W_3(j\omega)}. \quad (5)$$

Применимость критерия Найквиста к решению задач, связанных с оценкой устойчивости ЭЭС по режимным частотным характеристикам, подтверждена, на

основе линеаризованной системы уравнений, сравнением результатов, полученных по этому критерию и по критерию Михайлова.

В четвертой главе представлены результаты исследования устойчивости «в малом» АЭС ГКС «Сахалин» с использованием ПАК RTDS.

На первом этапе определяются параметры оборудования, необходимые для ввода в типовые программные модели. Второй этап составляет моделирование процесса работы АЭС. Третьим этапом является определение параметров АФЧХ замкнутой системы по полученным результатам моделирования и расчёт параметров АФЧХ соответствующей разомкнутой системы. По результатам этого расчёта осуществляется графическое построение АФЧХ разомкнутой системы и оценивается устойчивость «в малом» АЭС по критерию Найквиста.

Для построения АФЧХ снимается несколько пар осциллограмм (рисунок 8) в диапазоне частот от 0 до 5 Гц. Для каждой пары определяются отношение амплитуд $A = A_2/A_1$ и угол φ сдвига между входным и выходным сигналами, что даёт одно комплексное значение (вектор) АФЧХ по замкнутому контуру. Переход к разомкнутой системе осуществляется по выражению 5. По совокупности полученных комплексных значений, перенесённых на комплексную плоскость, строится АФЧХ разомкнутой системы.

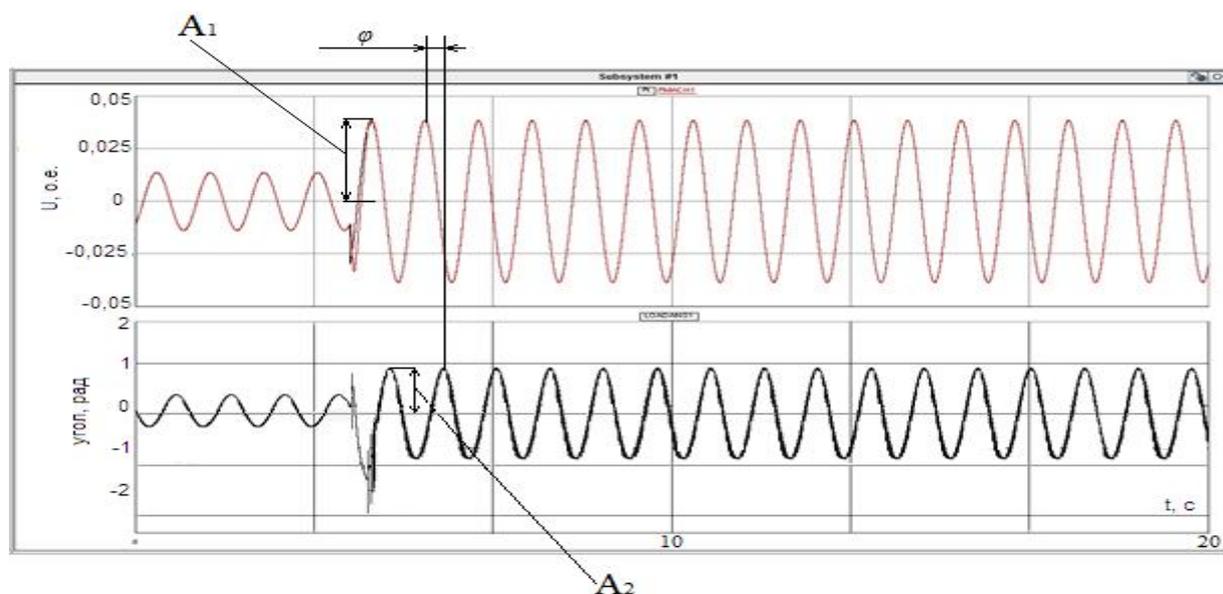


Рисунок 8 –Осциллограммы входного и выходного сигналов при возмущении 3% по напряжению возбуждения и частоте 1 Гц

В работе рассматривалась устойчивость параллельной работы ныне действующего импортного энергоблока на базе первичного двигателя Cummins и отечественного энергоблока, выполненного на базе коломенского двигателя.

Для построения АФЧХ модель коломенского энергоблока, сформированная на ПАК RTDS, была подключена ко второй секции шин вместо импортного энергоблока №2. Связь между энергоблоками осуществлялась по сети 0.4 кВ.

На рисунке 9 показана АФЧХ разомкнутой системы, построенная при работе двух импортных энергоблоков (см. рисунок 12), и АФЧХ при параллельной работе импортного и отечественного энергоблоков.

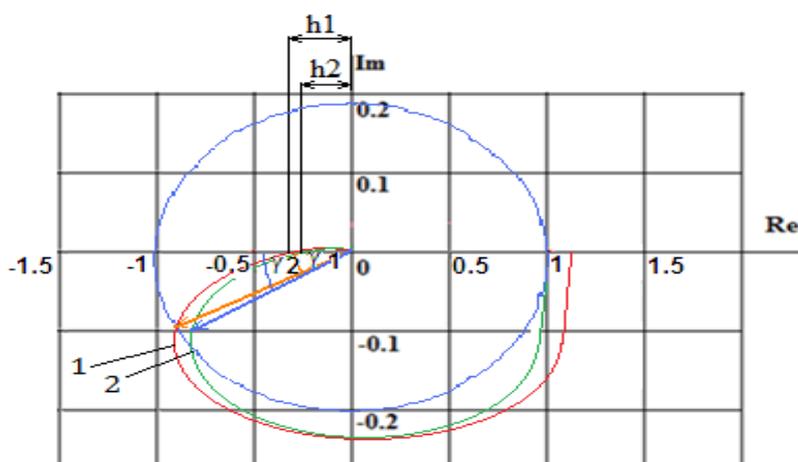


Рисунок 9 – АФЧХ АЭЭС ГКС «Сахалин» для работы двух энергоблоков на базе двигателей Cummins (1) и совместного режима (2)

Некоторое повышение устойчивости АЭЭС, заметное на рисунке 9, можно объяснить, в первом приближении, тем, что вращающаяся часть отечественного энергоагрегата более инерционна и, соответственно, менее чувствительна к колебаниям по сравнению с вращающейся частью импортного агрегата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований получены следующие основные результаты:

1. В результате анализа проблематики автономных систем электроснабжения ГКС с инженерной и научной точек зрения определены основные направления научных и технических работ по повышению надёжности их работы. Выявлены причины аварийных остановов энергоагрегатов и

предложены инженерно-технические решения по ликвидации и снижению их влияния.

2. Обоснована целесообразность применения частотного критерия Найквиста для исследования устойчивости «в малом» ЭЭС в общем и АЭЭС ГКС в частности. При этом необходимые режимные АФЧХ ЭЭС могут быть получены с использованием ПВК и ПАК различного типа без линеаризации исходной системы дифференциальных уравнений.

3. На ПАК RTDS создана полная модель АЭЭС ГКС «Сахалин», проведена ее верификация путём сравнения моделируемых и реальных процессов. Модель позволяет моделировать нормальные и переходные режимы работы АЭЭС с целью перенастройки алгоритмов работы устройств релейной защиты и автоматики для повышения надежности и устойчивости работы АЭЭС.

4. С использованием модели ПАК RTDS обосновано отсутствие ограничений по устойчивости «в малом» параллельной работы энергоагрегатов ГКС по сети 0.4 кВ. Ограничения отсутствуют как при параллельной работе импортных энергоагрегатов, так и при совместной работе импортных и отечественных энергоагрегатов.

Список научных трудов по теме диссертации

Статьи, опубликованные в периодических научных изданиях, рекомендованных ВАК

1. Хрущев Ю.В., Токарев И.С. Применение критерия Найквиста к исследованиям статической устойчивости электроэнергетических систем // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока,- 2011.- вып. 2.- С. 295-298
2. Хрущев Ю.В., Токарев И.С., Кладько А.А. Построение режимных частотных характеристик электроэнергетической системы по системе исходных уравнений // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока,- 2013.- вып. 2.- С. 338-344.

3. Хрущев Ю.В., Токарев И.С. Разработка технических решений для повышения устойчивости и надежности работы электростанции собственных нужд головной газокompрессорной станции «Сахалин» // Научно-технический журнал Электротехнические комплексы и системы управления,- 2014.- вып. 3.- С. 77-82.

Материалы международных всероссийских и университетских конференций, форумов и семинаров

4. **Токарев И.С.**, Маркелов В.А. Исследование устройств регулирования электрических машин в газотранспортной промышленности // Сборник тезисов. Конференция молодых руководителей и специалистов «Инновационный потенциал молодежи – путь к эффективной работе газотранспортного предприятия» ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», Екатеринбург, 20-24 сентября 2010 г. Екатеринбург: Изд-во ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», 2010. С. 48.

5. **Токарев И.С.** Использование режимных характеристик для исследования уровней статической устойчивости энергосистем // Современные техника и технологии: сборник трудов XVII международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 18-22 апреля 2011 г. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – Т.1, С. 25-26.

6. **Токарев И.С.** Анализ эксплуатации автономных электрических станций на объектах газотранспортной промышленности // Сборник тезисов. III научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов по теме «Обеспечение эффективного функционирования газовой отрасли» ООО «Газпром добыча Уренгой», Новый Уренгой, 23-24 марта 2012. Новый Уренгой: Ученый совет ЯНАО, 2012. С. 73.

7. **Токарев И.С.** Новые методы в исследовании статической устойчивости электроэнергетических систем // Современные техника и технологии: сборник трудов XVIII международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 10-14 апреля 2012 г. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – Т.1, С. 25-26.

8. **Токарев И.С.** Увеличение запаса устойчивости автономной энергосистемы ГКС «Сахалин» магистрального газопровода Сахалин-Хабаровск-Владивосток за счет изменения схемы электроснабжения // Сборник статей «Материалы VI научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Современная газотранспортная отрасль: перспективы, проблемы, решения». Томск, 20-23 апреля 2013 г. Томск: Рекламная группа «Графика». – 2013 г. – Т.2, С. 68-72.
9. **Токарев И.С.** Технические решения по увеличению запаса устойчивости автономных энергосистем на примере ГКС «Сахалин» // Сборник тезисов. XIV научно-практическая конференция молодых руководителей и специалистов «Молодежные инновации повышения эффективности и надежности транспорта газа». ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», Екатеринбург, 3-7 июня 2013 г. Екатеринбург: Изд-во ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», 2013. С. 40.
10. **Токарев И.С.** Разработка технических решений для увеличения устойчивости и надежности работы электростанций собственных нужд // Тезисы докладов юбилейной десятой всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов «Новые технологии в газовой промышленности». ОАО «Газпром», РГУ им. И.М. Губкина, Москва, 8-10 октября 2013 г. Москва: Изд-во РГУ им И.М. Губкина, 2013, С 331.
11. **Токарев И.С.** Технические решения по увеличению надежности работы автономных энергосистем на примере ГКС «Сахалин» // Современные техника и технологии: сборник трудов XX международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 19-21 апреля 2014 г. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – Т.1, С. 51-52.
12. **Токарев И.С.** Разработка технических решений по повышению надежности электроснабжения автономных энергосистем компрессорных станций на примере ГКС «Сахалин» // Публикация в сборнике статей нефтегазового конгресса ОАО «Газпром», Калининград 08-12 сентября 2014 г. Калининград: – С. 24-29.
13. **Токарев И.С.** Применение автономных источников электроснабжения на магистральном газопроводе «Сила Сибири». ООО «Газпром трансгаз Югорск» //

Сборник тезисов конференции молодых специалистов и новаторов производства, Югорск, 8-12 декабря 2014 г. – Югорск: Изд-во ООО «Газпром трансгаз Югорск», С. 43.

14. **Токарев И.С.**, Ужастов Ю.Н. Разработка технических решений по повышению надежности электроснабжения автономных энергосистем компрессорных станций на примере ГКС «Сахалин» // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией. Том II; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 594-595.

15. **Токарев И.С.** Обеспечение устойчивости работы автономных систем электроснабжения газоконпрессорных станций // Сборник статей VII международной научной конференции молодых ученых «Электротехника. Электротехнология. Энергетика», Новосибирск, 6-8 июня 2015 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, С. 214-217.

16. **Токарев И.С.** Обеспечение устойчивости работы автономных систем электроснабжения газоконпрессорных станций // Сборник тезисов XI всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России», Москва, 8-10 февраля 2016 г. Москва: Изд-во РГУ им И.М. Губкина, 2016, С. 43.

Кол-во стр. 20. Заказ 10-51
Бумага офсетная. Формат А5. Печать RISO.
Отпечатано в типографии ООО «СПБ Графикс»
634034, г.Томск, ул. Усова 4 а, оф. 150.
Тел. 89528074686,89039547361