

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Энергетический институт  
Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра электрических сетей и электротехники

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Разработка элементов электронного курса «Методы расчета устойчивости энергосистем»</b>

УДК 621.311.016.001.24:371.69:004

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ4Г	Колесников Станислав Вячеславович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭСиЭ	Фикс Н.П.	к. пед. н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко А.А.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Дашковский А.Г.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭСиЭ	Прохоров А.В.	к. т. н.		

Томск – 2016 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Направление ООП: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль: Электроэнергетические системы, сети, электропередачи, их режимы, устойчивость и надежность

Кафедра, институт: кафедра электрических сетей и электротехники, Энергетический институт

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Универсальные компетенции</i>		
P1	<i>Совершенствовать</i> и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, готовность к обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля электроэнергетических систем, сетей, электропередач, их режимов, устойчивости и надежности.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способность к активной социальной мобильности.	Требования ФГОС (ОК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	<i>Использовать</i> на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-4, ОК-5, ОК-6, ОК-7, ПК-31), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	<i>Использовать</i> представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовность вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.	Требования ФГОС (ОК-8, ОК-9, ПК-14, ПК-19), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетических систем, сетей, электропередач, их режимов, устойчивости и надежности.	Требования ФГОС (ПК-1, 2, 36) <sup>1</sup> , Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

P6	Ставить и <i>решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетических систем, сетей, электропередач, их режимов, устойчивости и надежности с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.	Требования ФГОС (ПК-5, 6, 7,9). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P7	Выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетических систем, сетей, электропередач в условиях жестких экономических и экологических ограничений.	Требования ФГОС (ПК-10, 11, 12, 13). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетических систем, сетей, электропередач, их режимов, устойчивости и надежности, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.	Требования ФГОС (ПК-14, 36, 39 –44). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P9	Проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса в электроэнергетических системах, сетях, электропередачах.	Требования ФГОС (ПК-19, ПК-23, ПК-27, ПК-30, ПК-31, ПК-32), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы</i> электроэнергетического и электротехнического оборудования электроэнергетических систем и сетей.	Требования ФГОС (ПК-45, ПК-46), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	<i>Осваивать новое</i> электроэнергетическое и электротехническое <i>оборудование</i> ; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.	Требования ФГОС (ПК-15, ПК-47, ПК-48, ПК-49, ПК-50), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Разрабатывать <i>рабочую проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.	Требования ФГОС (ПК-28, ПК-33, ПК-40, ПК-41, ПК-44), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Энергетический институт  
 Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Кафедра электрических сетей и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой  
 \_\_\_\_\_ Прохоров А.В.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Магистерской диссертации</b>
---------------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5AM4Г	Колесникову Станиславу Вячеславовичу

Тема работы:

<b>Разработка элементов электронного курса «Методы расчета устойчивости энергосистем»</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	22.01.2016 №275/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Материалы кафедры ЭСиЭ, научно-исследовательской и преддипломной практик.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Поиск источников по теме исследования (базы данных, например, Elsevier – ScienceDirect, SCOPUS, eLIBRARY.RU, сайты научных, образовательных и промышленных центров); перевод статей на русский язык; составление плана исследования; аналитический обзор источников по теме исследования, проектирование электронных курсов; описание принципов, методов и инструментов проектирования электронного курса, его структуры и функций (на примере дисциплины «Методы расчета устойчивости энергосистем»); разработка лабораторного практикума по расчету устойчивости энергосистем (описание существующего лабораторного практикума и обоснование необходимости его развития; обзор и обоснование выбора программных комплексов для расчета устойчивости энер-

	госистем; лабораторные работы по исследованию статической устойчивости и по анализу динамической устойчивости); анализ результатов и перспектив выполненного исследования.
<b>Перечень графического материала</b>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фигурко А.А.
Социальная ответственность	Дашковский Г.А.
Раздел на английском языке	Низкодубов Г.А.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и английском языках</b>	
Проектирование электронных курсов	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭСиЭ	Фикс Н.П.	к. пед. н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ4Г	Колесников С.В.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ4Г	Колесникову Станиславу Вячеславовичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭСиЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Определение стоимости материально-технических ресурсов научно-исследовательской работы.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Составление сметы затрат научно-исследовательской работы.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления на социальные нужды: ПФР – 22 %, ФСС РФ – 2,9 %, ФФОМС – 5,1 %.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>	Оценка инновационного потенциала проекта за счет использования активных методов обучения.
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Устав не требуется.
3. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Составление графика выполнения научно-исследовательской работы, определение бюджета проекта.
4. <i>Определение ресурсной эффективности, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка целесообразности проекта.

**Перечень графического материала:**

*График Ганта*

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	Фигурко А.А.	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ4Г	Колесников С.В.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5АМ4Г	Колесникову Станиславу Вячеславовичу

<b>Институт</b>	<b>ЭНИН</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭСиЭ</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	<p>1. Описание рабочего места на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, шумы, эл – магнитные поля, освещение)</li> <li>- опасных проявлений факторов производственной среды (термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> </ul>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b>	<p>1. Анализ выявленных <b>вредных</b> факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <p>Физические факторы: электромагнитное и ионизирующее излучение, микроклимат, освещение, шумы и вибрация.</p> <p>Психофизические факторы: повышенная нагрузка на органы зрения, длительные статические нагрузки, монотонность труда.</p> <p>2. Анализ выявленных <b>опасных</b> факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <p>Электробезопасность: статическое электричество.</p> <p>Пожаровзрывобезопасность: неисправность ПЭВМ.</p> <p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- влияние компьютерной техники</li> <li>- человек и окружающая среда.</li> </ul> <p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пожарная безопасность;</li> <li>- безопасность при чрезвычайных антропогенных и природных ситуациях;</li> </ul> <p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- охрана труда;</li> <li>- техника безопасности;</li> <li>- производственная санитария.</li> </ul>
<b>Перечень расч-го и граф-го материала</b>	План размещения светильников, схема подвеса светильников над рабочей поверхностью.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Дашковский А.Г.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ4Г	Колесников С.В.		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Энергетический институт  
 Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Уровень образования Магистратура  
 Кафедра электрических сетей и электротехники  
 Период выполнения (осенний семестр 2014/2015 учебного года – весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

<b>Магистерская диссертация</b>
---------------------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.11.2014	Поиск источников по теме исследования (базы данных, например, Elsevier – ScienceDirect, SCOPUS, eLIBRARY.RU, сайты научных, образовательных и промышленных центров)	5
30.11.2014	Перевод статей на русский язык	5
15.12.2014	Составление плана исследования	5
30.01.2015	Аналитический обзор источников по теме исследования. Проектирование электронных курсов (в том числе на английском языке)	20
30.05.2015	Описание принципов, методов и инструментов проектирования электронного курса, его структуры и функций (на примере дисциплины «Методы расчета устойчивости энергосистем»)	20
01.12.2015	Разработка лабораторного практикума по расчету устойчивости энергосистем (описание существующего лабораторного практикума и обоснование необходимости его развития; обзор и обоснование выбора программных комплексов для расчета устойчивости энергосистем; лабораторные работы по исследованию статической устойчивости и по анализу динамической устойчивости)	30
01.04.2016	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	5
01.05.2016	Социальная ответственность. Производственная и экологическая безопасность	5
25.05.2016	Анализ результатов и перспектив выполненного исследования	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭСиЭ	Фикс Н.П.	к.пед.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭСиЭ	Прохоров А.В.	к.т.н.		



## Реферат

Выпускная квалификационная работа 224 с., 56 рис., 27 табл., 61 источник, 5 прил.

Ключевые слова: электронный курс, LMS Moodle, устойчивость энергосистем, статическая устойчивость, динамическая устойчивость, колебательная устойчивость, апериодическая устойчивость, критерий Михайлова, критерий Гурвица.

Объектом исследования является учебный процесс в высших учебных заведениях с применением электронного курса “Методы расчета устойчивости энергосистем”.

Цель работы – разработка элементов электронного курса “Методы расчета устойчивости энергосистем в системе управления обучением (Learning Management System) LMS Moodle и, в составе электронного курса, лабораторных работ по исследованию устойчивости энергосистем.

В процессе исследования проводились: анализ методов и средств расчета устойчивости энергосистем, состояния и технологий электронного обучения; разработка электронного курса и лабораторного практикума; технико-экономические расчеты; анализ вопросов производственной и экологической безопасности.

В результате исследования разработаны элементы электронного курса “Методы расчета устойчивости энергосистем”, в том числе лабораторные работы “Построение предельных и допустимых по статической устойчивости областей режимов работы энергосистем” и “Определение динамической устойчивости многомашинной энергосистемы” с тестовыми примерами.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: электронный курс выполнен в системе управления обучением LMS Moodle; лабораторный практикум разработан с использованием программных комплексов RastrWin, Mustang и Mathcad.

Степень внедрения: электронный курс используется в учебном процессе для изучения дисциплины “Методы расчета устойчивости энергосистем”.

Область применения: учебный процесс в высших учебных заведениях.

Экономическая эффективность работы: при планировании бюджета научно-исследовательской работы обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для ее выполнения. Вычислены общие затраты по НИР.

В будущем планируется дальнейшее развитие электронного курса и лабораторного практикума, апробация новых лабораторных работ.

## **Abstract**

Graduate qualification work 224 Pages, 56 Fig., 27 Tab., 61 Sources, 5 Adj.

Keywords: e-course, LMS Moodle, stability of power systems, steady-state stability of power systems, transient stability, oscillatory stability, aperiodic stability, Mikhailov criterion, Hurwitz criterion.

The object of research is the educational process in higher education with using e-course "Methods of calculating the stability of power systems".

The purpose of research - development of the elements of the e-course "Methods of calculating the stability of power systems" in the learning management system (Learning Management System) LMS Moodle and, as part of course, laboratory works on the stability of power systems subject.

In research preformed: analysis of the methods and means calculation stability of the power systems, status of e-learning technologies; the development of E-Lerning course and a laboratory practical work; technical-economic calculations; analysis of the issues of industrial and environmental safety.

In consequence of research been developed an elements of electronic course "methods of calculation of stability of power", laboratory work, "Plotting of steady-state stability area" and "Determination of transient stability of multi-machine power system" with the test cases.

The basic constructive, technological and technical and operational characteristics: e-course is in the Learning Management System LMS Moodle; laboratory practice developed using RastrWin, Mustang and Mathcad software systems.

Degree of implementation: e-course is used in the educational process for the study of discipline "Methods of calculating the stability of power systems".

Field of application: the educational process in higher educational institutions.

Economic efficiency: in the research budget planning provided a complete and accurate reflection of all planned expenses required for implementation. Were calculated the total costs for research.

In the future, planned the further development of e-learning course and a laboratory practice works, approbation of that practice works.

## Обозначения и сокращения

**ШБМ** – шины бесконечной мощности

**ЭДС** – электродвижущая сила

**САР** – система автоматического регулирования

**АРВ** – автоматика регулирования возбуждения

**РПН** – регулировка под нагрузкой

**СХН** – статические характеристики нагрузки

**ЛЭП** – линия электропередач

**РС** – регуляторы скорости

**РВ** – регуляторы возбуждения

**УР** – установившийся режим

**АПВ** – автоматика повторного включения

**ТАПВ** – трехфазное автоматическое повторное включение

**УРОВ** – устройство резервирования отказа выключателя

**ПС** – программный комплекс

**ПЭВМ** – персональная электронная вычислительная машина

**СДО** – система дистанционного образования

**E-Learning** – электронное обучение

**LMS** – learning management system

**LCMS** – learning content management system

**Moodle** - Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment

**SCORM** - Sharable Content Object Reference Model

## Оглавление

Обозначения и сокращения .....	11
Введение.....	14
Глава 1 Теоретическое обоснование принципов создания, структуры и функций электронного курса “Методы расчета устойчивости энергосистем” .....	15
1.1 Введение в задачу исследования устойчивости энергосистем.....	15
1.2 Задачи создания электронного курса по системе E-Learning .....	33
1.3 Проектирование элементов электронного курса “Методы расчета устойчивости энергосистем” в соответствии с современными требованиями к профессиональной подготовке инженерных кадров .....	35
1.4 Обоснование выбора системы управления курсами .....	36
1.5 Структура электронного курса “Методы расчета устойчивости энергосистем” .....	41
1.6 Выводы по главе 1.....	44
Глава 2 Разработка и методика применения компьютерного лабораторного практикума по дисциплине «Методы расчета устойчивости энергосистем».....	46
2.1 Особенности применения компьютерного лабораторного практикума.....	46
2.2 Описание существующего лабораторного практикума по дисциплине «Методы расчета устойчивости энергосистем» .....	47
2.3 Обоснование необходимости дальнейшего развития лабораторного практикума ...	50
2.4 Обоснование выбора инструментальных средств для выполнения проектируемых лабораторных работ .....	51
2.5 Лабораторная работа № 2 (Построение предельных и допустимых по статической устойчивости областей режимов работы энергосистем.) .....	62
2.6 Лабораторная работа №3 (Определение динамической устойчивости многомашинной энергосистемы) .....	85
2.7 Выводы по главе 2.....	98
Глава 3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	99
3.1 Актуальность .....	99
3.2 Задачи исследования:.....	99
В настоящем исследовании решены следующие задачи: .....	99
3.3 Организационная структура исследования .....	100
3.4 Планирование исследования.....	101
3.5 Смета затрат на исследование .....	103
3.6 Выводы по главе 3.....	107
Глава 4 Социальная ответственность .....	108
4.1 Производственная безопасность .....	108
4.2 Воздействие объекта на окружающую среду.....	120
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	126
4.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	131
4.5 Выводы по главе 4.....	133
Заключение.....	135
Список используемых источников .....	138

Приложение А. Creating of e-learning courses .....	145
Приложение Б. Лабораторная работа №1 “Выбор коэффициентов усиления АРВ СД генератора одномашинной энергосистемы” .....	161
Приложение В. Лабораторная работа №2 “Построение области допустимых режимов по апериодической статической устойчивости трехмашинной энергосистемы” .....	186
Приложение Г. Тестовый пример выполнения лабораторной работы “Построение предельных и допустимых по статической устойчивости областей режимов работы энергосистем” .....	209
Приложение Д. Тестовый пример выполнения лабораторной работы “Определение динамической устойчивости многомашинной энергосистемы” .....	216

## **Введение**

В настоящее время изменения в электроэнергетике России заключаются, кроме ввода новых генерирующих и потребляющих мощностей, в замене электроэнергетического оборудования, создании современных систем контроля и управления электроэнергетической системой, увеличении доли энергоэффективных и энергосберегающих технологий.

Для устойчивого развития отрасли необходимо, чтобы специалисты, подготавливаемые высшей школой для нужд энергетики, были не только обучены основным знаниям, необходимым им в профессиональной деятельности, но и имели широкое представление, а также могли успешно внедрять и применять современные методы и технологии, которые необходимы для качественного развития российской электроэнергетики.

В связи с этим, большое значение имеет то, какими средствами пользуется высшее учебное заведение в процессе подготовки студентов-энергетиков, какие современные методы использует для создания у них знаний, умений и компетенций, необходимых для качественной профессиональной деятельности.

Одним из относительно новых и востребованных средств современного обучения является электронный курс. Это система, которая позволяет в условиях всех форм обучения реализовывать постоянное взаимодействие преподавателя и студента, контролировать степень и качество прохождения студентом учебного материала, своевременно контролировать все аспекты преподавания предмета, а также гибко настраивать курс под нужды как преподавателя, так и студента.

Цель диссертационного исследования заключается в разработке элементов электронного курса “Методы расчета устойчивости энергосистем в системе управления обучением (Learning Management System) LMS Moodle и, в составе электронного курса, лабораторных работ по исследованию устойчивости энергосистем.

# **Глава 1 Теоретическое обоснование принципов создания, структуры и функций электронного курса “Методы расчета устойчивости энергосистем”**

## **1.1 Введение в задачу исследования устойчивости энергосистем**

В соответствии с ГОСТ 21027-75 энергетической системой называется “совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режимов в непрерывном процессе производства, преобразования, передачи и распределения электрической и тепловой энергии при общем управлении этим режимом” [1].

В первую очередь к электрической части электроэнергетической системы относятся генераторы и двигатели, линии электропередач и трансформаторы, распределительные устройства и конечные потребители, а также различные устройства и системы автоматического регулирования (регуляторы скорости турбин, уровней реактивной и активной мощности, частоты, возбуждения синхронных машин) [2].

Большую часть времени энергосистема находится в состоянии установившегося режима. Установившийся режим энергосистемы характеризуется как режим, в течение которого все параметры режима остаются неизменными. В действующей энергосистеме непрерывно присутствуют малые возмущения. Существование их связано с перманентным изменением параметров нагрузки, изменением активных сопротивлений различных элементов энергосистемы, связанными с изменениями температуры, а также работой устройств регулирования и другими причинами. Кратковременный режим, при котором энергосистема переходит от одного установившегося режима к другому, характеризующемуся значительным изменением параметров, называется переходным режимом энергосистемы. Также, переходный режим характеризуется тем, что при рассмотрении практических задач необходимо учитывать и высокую скорость изменения параметров режима работы энергосистемы. Существует также част-

ный случай переходного режима – асинхронный режим, который характеризуется несинхронным вращением части генераторов энергосистемы [1].

В процессе эксплуатации энергосистемы в ней возможно возникновение таких состояний, при которых изменение ее режимных параметров становится неконтролируемым диспетчерским персоналом, что может привести как к выходу параметров за допустимые пределы, так и к появлению асинхронных режимов. События с появлением таких состояний называются нарушениями устойчивости. Причинами нарушения устойчивости в общем случае является несоответствие режима и области устойчивости, либо несоответствие возникшего и расчетного возмущений [3].

Известно, что аварии, связанные с нарушением устойчивости работы энергосистем имеют тяжелейшие народнохозяйственные последствия, так как может привести к нарушению параллельной работы электростанций и частей энергосистем, отключению потребителей, выходу из строя электротехнического оборудования и еще к целому ряду аварийных ситуаций, которые приводят к прекращению электроснабжения потребителей, массовому недоотпуску продукции, опасности для жизни и здоровья людей.

В связи с этим одним из важнейших направлений исследований в области электроэнергетики является задача расчета устойчивости энергосистем.

Типичная энергосистема представляет из себя широко разветвленную сеть устройств (турбогенераторов, трансформаторов, линий электропередач, батарей конденсаторов и т.п.), которые в расчетах замещаются как линейными и нелинейными элементами. При этом при этом поведение электрических машин описывается множеством нелинейных уравнений, что приводит к значительному усложнению создаваемых моделей энергосистем [4].

Эта сложность описания энергосистем приводит к необходимости использования мощных инструментальных средств оценки устойчивости работы энергосистем, включающих в себя как аналитические методы оценки устойчивости, которые требуют сложные вычисления, так и численные методы реше-



ния дифференциальных уравнений, которые, применительно к энергосистемам, требуют, в свою очередь, мощные вычислительные машины.

Существует два вида устойчивости электроэнергетической системы – статическая и динамическая устойчивость.

Статическая устойчивость рассматривается как способность энергосистемы возвращаться исходному режиму при малых изменениях параметров режима работы системы, а также способность противостоять этим изменениям параметров (колебаниям) до определённого предела (предельного режима работы энергосистемы).

Для анализа статической устойчивости необходимо рассмотреть простейшую одномашинную модель энергосистемы, представленную на рисунке 1.1 а. В этой простейшей модели электростанция, представляемая как эквивалентный генератор, работает параллельно с системой, представляемой как шины бесконечной мощности (ШБМ). Их объединяют линия электропередачи Л и два трансформатора  $T_1$  и  $T_2$  [25].

На рисунке 1.1б изображена схема замещения, представленная источниками ЭДС (генераторами и системой) сопротивлениями элементов (трансформаторов, линий и генераторов), при допущении, что  $r = 0$ ;  $g = 0$ ;  $b = 0$ .

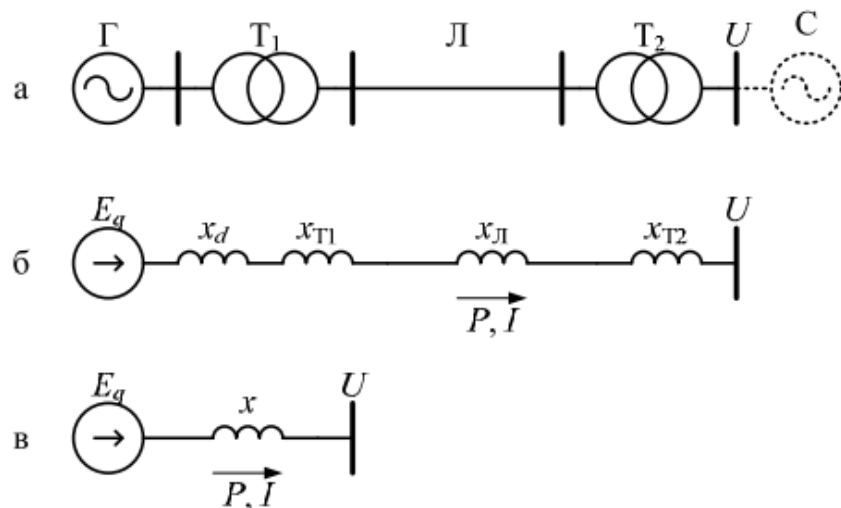


Рисунок 1.1 – Одномашинная модель энергосистемы

Связь между активной мощностью  $P$ , модулями напряжений  $E_q$ ,  $U$ , а также угла между ними  $\delta$  определяется с помощью векторной диаграммы (рисунок 1.2):

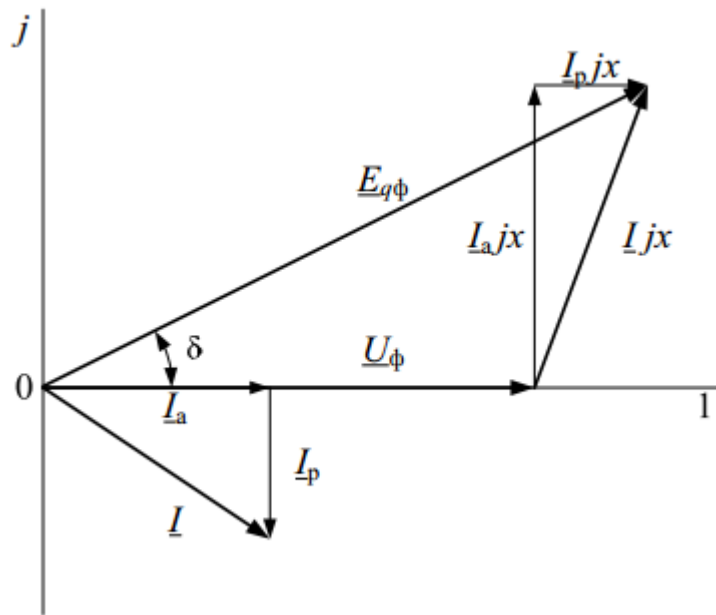


Рисунок 1.2 – Векторная диаграмма токов и напряжений рассматриваемой энергосистемы

Из рисунка очевидно, что модуль поперечной составляющей  $I_j x$  определяется как:

$$I_a x = E_{q\phi} \sin \delta$$

При умножении обеих частей равенства на  $3U_\phi/x$  получаем:

$$3U_\phi I_a = \frac{3E_{q\phi} U_\phi}{x} \sin \delta = \frac{E_q U}{x} \sin \delta$$

Подставив в уравнение  $P = 3U_\phi I_a$ , получим:

$$P = \frac{E_q U}{x} \sin \delta$$

При постоянных ЭДС  $E_q$  и напряжении  $U$ , изменяя угол  $\delta$  от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  построим угловую характеристику активной мощности генератора (рисунок 1.3) [25]:

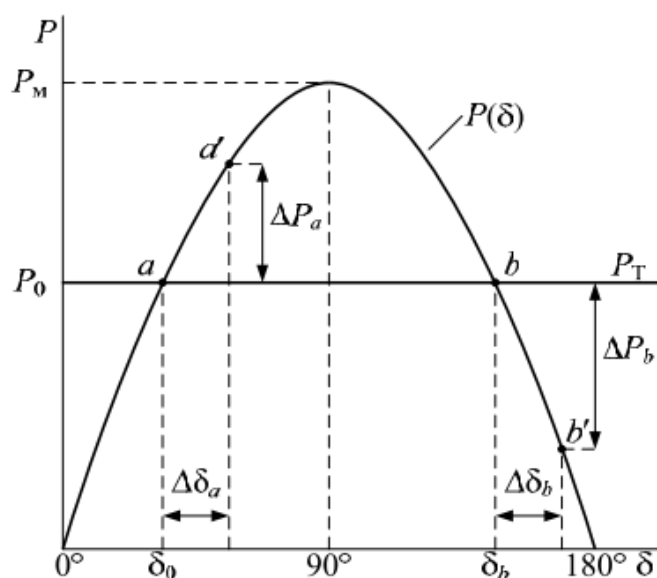


Рисунок 1.3 – Угловая характеристика генератора

Рассмотрим процессы, происходящие в генераторе. В установившемся режиме генератор передает в сеть электромагнитную мощность  $P_0 = P_T$ , вследствие чего и турбина, и связанный с ней механический ротор генератора вращаются синхронно. При этом на вал ротора генератора действуют два противоположных и равных по величине момента – механический момент турбины, имеющий положительное ускорение (ускоряющий момент) и электромагнитный момент системы имеющий отрицательное ускорение (тормозящий момент).

Точки  $a$  и  $b$ , располагающиеся на пересечении угловой характеристики генератора  $P(\delta)$  и мощности турбины  $P_T$ , являются рабочими точками режима энергосистемы. Проанализируем устойчивость работы генератора в режимах, определяемых этими точками.

Предположим, что точка  $a$  характеризует установившийся режим генератора. При некотором изменении мощности на небольшую положительную случайную величину и сопутствующем этому увеличению угла  $\delta$ , тормозящий электромагнитный момент генератора, обусловленный электрической нагрузкой системы, станет на некоторую величину больше ускоряющего момента турбины, обусловленного инерцией вращающихся масс. Это приведёт к неравенству моментов ускорения и торможения, действующих на вал генератора.

Под действием избыточного тормозящего момента произойдет торможение ротора генератора, что в свою очередь будет происходить уменьшение как угла, так и активной мощности, которую генератор отдает в сеть. Этот переходный процесс будет наблюдаться до тех пор, пока система не вернется к исходному режиму работы (точка  $a$ ) [26].

Из этого следует, что, так как в режиме малых возмущений, при работе в точке  $a$ , энергосистема способна вернуться в исходное состояние, то в этой точке режим работы статически устойчив.

Противоположная ситуация наблюдается при работе энергосистемы в точке  $b$ . Здесь, некоторое небольшое увеличение угла приведет к уменьшению активной мощности, которую генератор отдает в сеть. При таком переходе в точку  $b'$  также нарушается баланс тормозящего и ускоряющего момента, действующих на вал генератора, причём электромагнитная мощность, выдаваемая генератором в сеть, уменьшится по сравнению с мощностью турбины, что повлечёт за собой ускорение вращения ротора генератора. Это приведёт к дальнейшему увеличению угла  $\delta$ , за чем последует ещё большее увеличение небаланса действующих на вал ротора генератора мощностей. В своём развитии этот процесс будет иметь лавинообразный характер, что в итоге приведёт к выпадению генератора из синхронизма. Следовательно, режим работы энергосистемы, характеризуемый точкой  $b$  является неустойчивым.

### **1.1.1 Общие вопросы анализа устойчивости энергосистем**

К основным задачам расчетов устойчивости энергосистем можно отнести: определение предельных по апериодической статической устойчивости режимов работы энергосистем, оценку колебательной статической устойчивости энергосистем, выбор настроечных параметров САР (систем автоматического регулирования), исследование динамических свойств энергосистем (электромеханические переходные процессы), анализ динамической устойчивости

при различных аварийных ситуациях и выбор противоаварийных мероприятий, и настройку устройств противоаварийной автоматики.

Методы расчета устойчивости энергосистем базируются в первую очередь на уравнениях Парка-Горева [6,7,8]. Эти уравнения описывают поведение идеализированной электрической машины во вращающихся продольной и поперечной осях и базируются на некоторых допущениях. В своей монографии «Введение в теорию устойчивости параллельной работы электрических станций» Горев провел общее исследование динамической устойчивости систем с числом станций более двух, а также вывел критерии устойчивости, ориентируясь на метод малых колебаний. Также, Горев в своих работах описывает такие вопросы, как расчет длинных линий передачи электрической энергии с учетом рассеяния энергии, определение пропускной способности линий электропередач трехфазного тока большой мощности, статическая устойчивость системы из двух синхронных машин, питающих общую нагрузку, предельные режимы дальней электропередачи.

Колебания нерегулируемых синхронных машин под действием некоторой внешней нагрузки рассмотрены в работе Крылова и Боголюбова “О колебаниях синхронных машин” [9]. В ней авторы приводят исследование устойчивости решения, получаемого при анализе колебаний синхронной машины дифференциального уравнения второго порядка, доказательство некоторых функциональных зависимостей и соотношений, необходимых для установления критериев устойчивости, а также определяют количественное определение предела допустимой нагрузки. Также, в данной работе рассмотрена устойчивость параллельной работы системы, состоящей из  $n$  синхронных машин, в том числе рассмотрена устойчивость двухмашинной системы по Ляпунову [10], сформулировано понятие о динамической устойчивости, определены критерии динамической устойчивости одного и двух синхронных генераторов, работающих параллельно.

Мелешкин и Меркурьев в своей книге "Устойчивость энергосистем" [11] рассмотрели основные переходные процессы в энергетических системах, отражающие устойчивость работы генераторов и мощных электродвигателей. Произвели оценку статической и динамической устойчивости генераторов. В книге также изложены режимы параллельной работы генераторов, методы их синхронизации, устойчивость параллельной работы и особенности асинхронного режима в энергосистемах. Отдельно рассмотрены режимы пуска, самозапуска электродвигателей от шин трансформаторной подстанции и от генераторов автономной электростанции с учетом влияния напряжения и частоты на переходные процессы.

Обоснование практических критериев статической устойчивости было дано И.М. Марковичем и С.А. Соваловым в [12].

В работе [13] С.А. Лебедев показал теоретическую и практическую возможность режима искусственной (обусловленной действием регулятора) устойчивости энергосистемы. Исследование асинхронных режимов работы энергосистем, несинхронных включений генераторов, процессов ресинхронизации, влияние на ресинхронизацию форсировки возбуждения генераторов, а также влияние асинхронного хода по одной из линий электропередач на устойчивость энергосистемы рассмотрены в [14, 15, 16, 17, 18, 19].

К современным учебным монографиям по устойчивости энергосистем относятся [20]. В ней рассмотрены основные переходные процессы в энергетических системах, отражающие устойчивость работы генераторов и мощных электродвигателей.

Изложены режимы параллельной работы генераторов, методы их синхронизации, устойчивость параллельной работы и особенности асинхронного режима в энергосистемах. Отдельно рассмотрены режимы пуска, самозапуска электродвигателей от шин трансформаторной подстанции и от генераторов автономной электростанции с учетом влияния напряжения и частоты на переходные процессы.

В книге Веникова В.А. “Переходные электромеханические процессы в электрических системах” [21] рассматриваются переходные режимы в электроэнергетических системах, имеющих автоматическое регулирование, приводится физическое описание процессов в энергосистемах, методы расчёта устойчивости энергосистем, применяемых на практике. Рассматривается поведение узлов нагрузки, явление самовозбуждения и т.д.

Математические методы расчета устойчивости энергосистем в форме, понятной и достаточной для инженеров, описаны в учебном пособии [4], в котором рассматриваются вопросы, связанные с устойчивостью энергосистем, дается общая методология решения систем дифференциальных уравнений. Также, рассмотрены практические методы расчета аperiodической статической устойчивости энергосистем.

### **1.1.2 Практические методы расчета аperiodической статической устойчивости энергосистем**

Для сложных энергосистем, в общем виде, решение задачи определения статической устойчивости всегда связано с анализом как самого характеристического уравнения, так и его корней.

При этом, нарушение статической аperiodической устойчивости сопровождается как самораскачиванием режима работы системы, так и явлением текучести (сползания) режима – аperiodического изменения режимных параметров.

В проектных и эксплуатационных задачах используется упрощенный метод определения статических пределов энергосистем. При этом принимаются следующие допущения – нарушение колебательной устойчивости ликвидировано при помощи систем автоматического регулирования возбуждения (АРВ) и, при этом, процесс нарушения статической устойчивости носит аperiodический характер.

При утяжелении режима (которое начинается с некоторого заведомо устойчивого состояния энергосистемы) изменение знака свободного члена характеристического уравнения будет говорить о нарушении статической аperiodической устойчивости.

Это значительно упрощает определение статической аperiodической устойчивости энергосистемы.

Определение статической устойчивости энергосистемы сводится к составлению математической модели электромагнитных и электромеханических процессов, проходящих в энергосистеме (составление системы дифференциальных уравнений, описывающих эти переходные процессы), линеаризации этих уравнений и составлению характеристического уравнения с последующей оценкой его корней.

Область допустимых по статической устойчивости режимов работы энергосистемы вычисляется, исходя из ранее определённой области устойчивости. Процедура вычисления запаса статической устойчивости для сложных схем может быть реализована разными способами в зависимости от выбора показателей запаса статической аperiodической устойчивости энергосистемы. Показателями запаса устойчивости необходимо принять такие параметры, которые были бы универсальными в применении для энергосистем любой сложности и удобными для определения диспетчерских условий на режим работы энергосистемы. В настоящее время на практике применяются коэффициенты запаса статической устойчивости электрических связей в энергосистеме [28].

Множество режимов, в которых обеспечивается статическая устойчивость энергосистемы, при постоянной электрической схеме сети и составе генераторов, называется областью статической устойчивости энергосистемы.

Нарушение статической аperiodической устойчивости определяют по изменению знака свободного члена характеристического уравнения при ухуд-



шении (утяжелении) режима, начиная с заведомо устойчивого состояния энергосистемы.

Из системы линеаризованных уравнений переходных процессов получают свободный член характеристического уравнения -  $a_n$ . Для этого приравняют к нулю оператор дифференцирования  $p = d/dt$  и получают характеристическое уравнение в форме определителя. На следующем шаге составляют матрицу Якоби – матрицу коэффициентов уравнений установившегося режима, предварительно линеаризованных. Далее выполняют расчет установившихся режимов, применяя метод Ньютона.

Расчет пределов статической устойчивости энергосистемы является лишь частью более общей задачи определения допустимой области изменения параметров ее режима.

При этом, также, необходимо определить ограничения на запасы статической устойчивости, ограничения, накладываемые динамической устойчивостью энергосистемы и другие факторы конкретных условий эксплуатации энергосистемы, например, ограничения по техническим и технологическим возможностям и параметрам электрооборудования и автоматического управления и регулирования [4].

Совпадение значения матрицы Якоби и свободного члена характеристического уравнения происходит при следующих условиях:

- 1) в расчетной схеме присутствует узел, который будет рассмотрен в качестве шины бесконечной мощности. Этот узел является балансирующим узлом ( по активной мощности).

- 2) при расчетах всех режимов, как установившихся, так и переходных, должны использоваться неизменные статические характеристики нагрузок

- 3) при расчете режимов и оценке устойчивости, генераторы учитываются одинаковыми статическими характеристиками  $Q_G = Q(U_G, P_G)$ ; с учетом того что для генераторов независимыми переменными являются  $P_G, Q_G$ ;

Если при расчетах устойчивости пренебрегать статизмом АРВ генераторов, т. е. считать  $U_i = const$ , что приемлемо, то условие 3 видоизменится: для генераторных узлов в расчетах режимов в качестве независимых переменных принимаются  $U_G, P_G$  [27].

Если эти условия не выполняются, то по якобиану уравнений установившегося режима системы не допускается судить об апериодической устойчивости режима.

Построение областей статической устойчивости производится отображением на плоскости координат параметров режима только тех параметров, которые оказывают влияние на устойчивость энергосистемы. К таким параметрам можно отнести генерируемые активные мощности, углы генераторных напряжений, активные мощности нагрузки, суммарные потоки активной мощности по линиям электропередачи в сечениях энергосистем. Сечение энергосистемы определяется как совокупность сетевых элементов, отключение которых приводит к полной изоляции двух частей этой энергосистемы [4]. Пример сечения показан на рисунке 1.4.

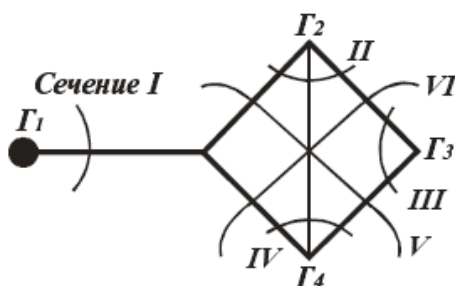


Рисунок 1.4 – Пример сечения энергосистемы

Пользоваться областями и, соответственно, граничными поверхностями устойчивости в более чем трехмерном пространстве практически невозможно. Вследствие этого следует стремиться к уменьшению количества координат.

Поскольку изобразить область устойчивости в многомерном пространстве невозможно, обычно довольствуются ее двумерными сечениями. Такие сечения строятся при помощи операции фиксирования всех координат, кроме

двух наиболее важных для решаемой задачи. Сечения области устойчивости в двумерном пространстве активных мощностей узлов имеют форму овальных плоских объектов (рисунок 1.5). Для упрощения построения границ этих объектов иногда используют аппроксимирующие функции, которые позволяют построить границы сечений с погрешностью в несколько процентов [4].

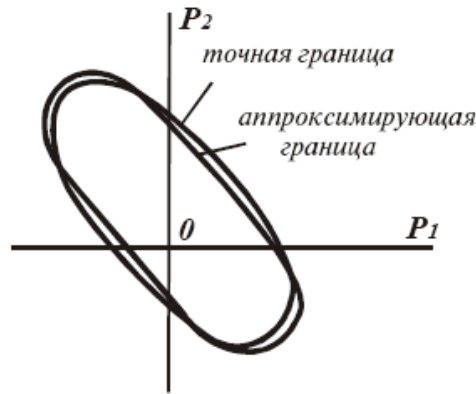


Рисунок 1.5 – Сечения области устойчивости

Как видно из рисунка 1.5, граничные значения потоков активной мощности имеют отрицательные и положительные значения. В тех случаях, когда в исследуемых узлах подключены только генераторы, энергосистема работает в областях, ограниченных первым квадрантом. При наличии мощной местной нагрузки, соизмеримой с эквивалентной мощностью генераторов узла, физический смысл имеет вся граница сечения [4].

### 1.1.3 Коэффициенты запаса статической устойчивости и их нормирование

Простейшая оценка запаса статической устойчивости основывается на сопоставлении показателей проверяемого режима и показателей, характеризующих режим, предельный по устойчивости. На практике используют коэффициенты запаса статической устойчивости по активной мощности и по напряжению. С помощью коэффициента запаса по активной мощности

оцениваются запасы статической устойчивости генераторных узлов и сечений энергосистемы.

$$K_p = \frac{P_{np} - P}{P_{np}} \quad (1.1)$$

где  $P_{np}$  - предельная по условиям статической устойчивости мощность;  $P$  - передаваемая мощность [28].

Согласно “Руководящим указаниям по устойчивости энергосистем”, в нормальных режимах должен обеспечиваться запас, соответствующий коэффициенту  $K_p \geq 20\%$ . В наиболее тяжелых режимах работы допускается снижение запаса устойчивости до  $K_p \geq 8\%$ . В кратковременных послеаварийных режимах необходимо обеспечивать запас  $K_p \geq 8\%$  [26].

Коэффициент запаса статической устойчивости по напряжению определяется как:

$$K_u = \frac{U - U_{кр}}{U} \quad (1.2)$$

где  $U$  - длительно поддерживаемое напряжение в узле системы;

$U_{кр}$  – критическое напряжение в узле.

При этом запас устойчивости по напряжению определяет устойчивость нагрузки.

Согласно “Руководящим указаниям по устойчивости энергосистем”, в нормальных режимах величина этого коэффициента не должна быть менее 15%, а в кратковременных послеаварийных и тяжелых режимах - не менее 10% [28].

Для связей коэффициенты запаса статической устойчивости по активной мощности определяется с учётом нерегулярных колебаний обменной мощности по данному сечению:

$$K_p = \frac{P_{np} - (P + \Delta P_{HK})}{P_{np}} \cdot 100\% \quad (1.3)$$

где  $\Delta P$  - амплитуда нерегулярных колебаний обменной мощности [28].

Величина  $\Delta P$  определяется измерениями для рассматриваемого сечения, либо же вычисляется как:

$$\Delta P_{HK} = K \cdot \sqrt{\frac{P_{H1} \cdot P_{H2}}{P_{H1} + P_{H2}}} \quad (1.4)$$

где  $P_{H1}, P_{H2}$  – суммарные мощности нагрузок с каждой стороны рассматриваемого сечения, (МВт); коэффициент  $K$  принимается равным 1,5 для случая ручного регулирования перетока активной мощности в рассматриваемом сечении и 0,75 при регулировании при помощи автоматики [28].

### 1.1.4 Динамическая устойчивость энергосистем

Динамическую устойчивость рассматривают в случае быстрых и изменений параметров режимов работы энергосистемы [5]. В целом, динамическая устойчивость генератора рассматривается в рамках классической теории устойчивости (по Ляпунову). При этом колебательные процессы в роторах синхронных машин рассматриваются с позиции аналитической динамики Лагранжа.

Оценку динамической устойчивости синхронного генератора рассмотрим на примере модели (рис. 1.6), состоящей из синхронного генератора, выдающего мощность в сеть через двухцепную линию электропередач, одна цепь которой отключается в следствие аварийной ситуации (короткого замыкания и т.п.):

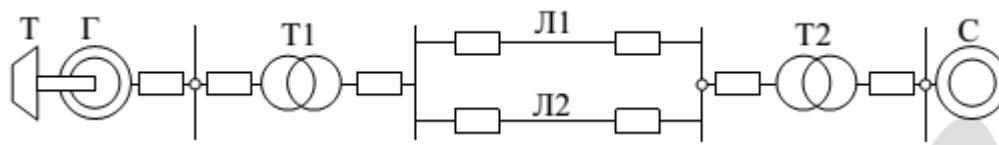


Рисунок 1.6 – Схема рассматриваемой энергосистемы, где:

Т – турбоагрегат; Г – синхронный генератор; Т1 – повышающий трансформатор; Л1, Л2 – двухцепная ЛЭП; Т2 – трансформатор связи с энергосистемой; С – энергосистема

Здесь, будем определять динамическую устойчивость энергосистемы как способность генератора выдавать мощность в сеть без нарушения синхро-

низма при значительных возмущениях, сопровождающихся, например, изменением в схеме замещения системы.

Обратимся к рисунку 1.7, для которого  $P_{\Gamma}$  - угловая характеристика генератора,  $P_{\tau}$  – характеристика мощности турбины. Угловая характеристика неявнополюсного генератора описывается формулой:

$$P_c = \frac{U_c U'_q}{x'_{d\Sigma}} \sin \Theta. \quad (1.5)$$

Для явнополюсного гидротурбогенератора применяется формула

$$P_c = \frac{U_c U'_q}{x'_{d\Sigma}} \sin \Theta + \frac{(x'_d - x'_q)}{2x'_{d\Sigma} x'_{q\Sigma}} U_c^2 \sin 2\Theta. \quad (1.6)$$

Построим угловую характеристику процесса по формуле 1.5:

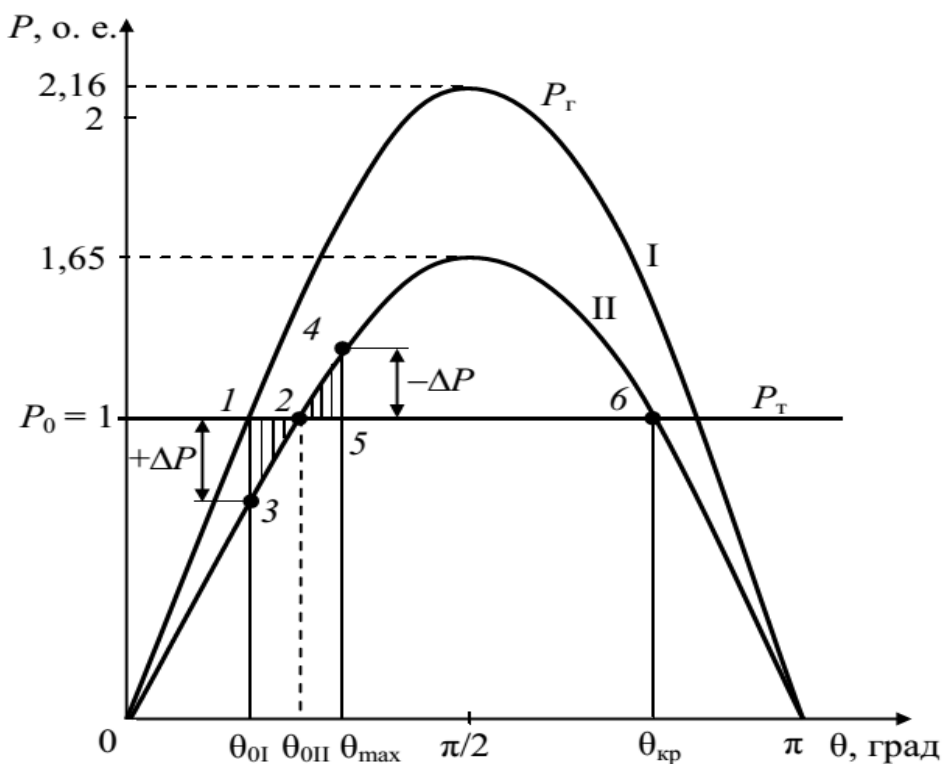


Рисунок 1.7 – Угловые характеристики турбогенератора:

I – в нормальном режиме при  $P = P_{НОМ}$

II – при отключении одной линии.

При этом рассматривается случай внезапного неправильного срабатывания устройств РЗА, что влечёт за собой отключение линии Л2 (рисунок 1.8 а и б). В этой схеме ЭДС генератора представляется величиной  $E'_q$ .

По закону электромагнитной индукции магнитное поле генератора изменяется не мгновенно при изменении тока в обмотках, имеющих электромагнитную связь между собой.

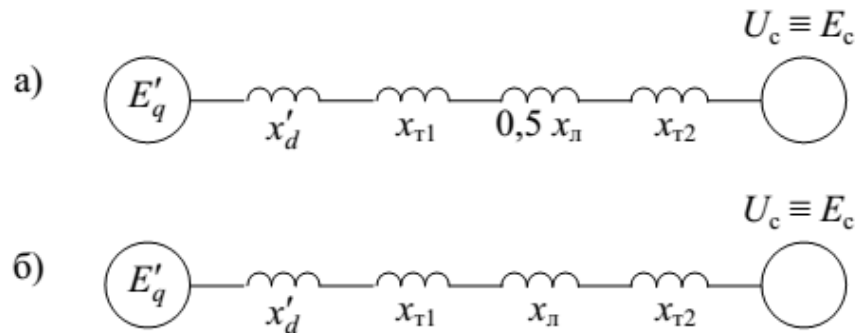


Рисунок 1.8 - Схема замещения электропередачи:

а – в нормальной режиме;

б – при отключенной одной линии

Ввиду того, что скорость протекания электромагнитных переходных процессов несравненно выше скорости протекания механического процесса собственно вращения ротора, в данной схеме не имеет смысла представлять генератор как  $E''_q$ .

Изначально, суммарное сопротивление электропередачи  $x'_{d\Sigma}$  определялось как:

$$x'_{d\Sigma} = x'_d + x_{T1} + 0,5x_{л} + x_{T2}$$

Однако, при отключении одной из линий суммарное сопротивление увеличится:

$$x'_{d\Sigma} = x'_d + x_{T1} + x_{л} + x_{T2}$$

Это повлечет за собой скачкообразное смещение амплитуды угловой характеристики с кривой I на кривую II, и на валу ротора генератора возникнет избыточная мощности (избыточный механический момент)  $\Delta P$ .

Это происходит также вследствие много большей скорости протекания электромагнитных процессов в сравнении с механической скоростью вращения ротора генератора, связанного с ротором турбины, которые имеют большой механический момент инерции.

При этом поведение ротора генератора будет описываться уравнением динамического равновесия:

$$J \frac{d^2\Theta}{dt^2} = P_T - P_G = \pm \Delta P \quad (1.7)$$

Появившаяся избыточная мощность приводит к появлению положительного ускорения ротора генератора:

$$\frac{d^2\Theta}{dt^2}$$

При угловом движении ротора генератора, связанного с турбиной, они запасают кинетическую энергию:

$$\int_{\Theta_{0I}}^{\Theta_{0II}} (P_0 - P_{IIm} \sin \Theta) d\Theta, \quad (1.8)$$

Которая равна площади, ограниченной точками 1,2 и 3 на рисунке 1.7.

Запасенная кинетическая энергия заставит ротор генератора пройти угол  $\Theta_{0II}$ , причем на валу ротора появится избыточная мощность  $-\Delta P$ , которая будет увеличиваться с движением ротора до угла  $\Theta_{max}$ .

Эта мощность  $-\Delta P$  будет иметь избыточный тормозящий момент, действующий на ротор генератора. При движении генератора с тормозящей силой, ранее запасенная кинетическая энергия вращения выдается в сеть в виде электроэнергии. Энергия, которая преодолет эту тормозную силу пропорциональна площади, ограниченной точками 2,4 и 5.

$$\int_{\Theta_{0II}}^{\Theta_{0max}} (P_0 - P_{IIm} \sin \Theta) d\Theta, \quad (1.9)$$



Первый интеграл 1.8 называется площадкой ускорения, интеграл 1.9 называется площадкой торможения. При этом имеется равенство площадей ускорения и торможения. При этом стоит заметить, что вся площадь, которая ограничена точками 2,4 и 6 является площадью торможения.

Из этого следует, что критерием динамической устойчивости синхронного генератора является неравенство

$$S_y \leq S_T, \quad (1.10)$$

где  $S_y$  – площадка ускорения,  $S_m$  – площадка торможения.

Тогда максимальный угол, при котором генератор сохраняет динамическую устойчивость:

$$\cos \Theta_{max} + \rho \Theta_{max} = \rho \Theta_{0I} + \cos \Theta_{0I}, \quad (1.10)$$

где  $\rho = \frac{P_0}{P_{mII}}$  – отношение исходной мощности (до нарушения режима работы электропередачи) к амплитудой мощности после нарушения режима работы электропередачи;  $\Theta_{max}$  – максимальный угол вылета ротора генератора;  $\Theta_{0I}$  – угол вылета до нарушения режима [11].

## 1.2 Задачи создания электронного курса по системе E-Learning

Основной задачей российских высших учебных заведений является обеспечение высокого качества образования. Данную задачу можно реализовать только в случае, если для этого будут созданы благоприятные условия, такие, как развитие современных материально-технических, информационных и кадровых ресурсов. Для достижения поставленной цели необходимы оборудованные кабинеты, электронные и печатные учебные пособия, демонстрационное и лабораторное оборудование, интерактивные и мультимедиа-комплексы, призванные обеспечить высокое качество образования.

Таким образом, условием подготовки качественных специалистов различного уровня (бакалавр, специалист, магистр) является наличие соответствующей материальной базы [22].

В последние несколько лет широкое распространение получили дистанционные формы обучения, основанные на использовании онлайн–курсов.

Онлайн-курс – это обучающий курс с повсеместным применением электронных технологий, включающий в себя открытый доступ в интернет. В дополнение к традиционным материалам учебных курсов, таким как текстовая и графическая информация, онлайн курс включает в себя средства общения преподавателей и студентов в формате форума и чата, а также средства автоматического контроля обучения и оценки его результатов.

К основным задачам, стоящим перед современным электронным курсом относятся:

- Необходимость своевременного предоставления учебного материала студентам. Это значит, что в условиях, когда учащийся удален от преподавателя, система электронного обучения должна вовремя предоставить учащемуся актуальную учебную информацию, в каком бы виде она не находилась (графическом, текстовом, видео формате и т.д.)

- Система автоматической проверки и сертификации знаний. В онлайн-курсе должна быть реализована возможность автоматического контроля за успеваемостью студентов.

- Соответствие традиционным формам обучения. Эту задачу можно охарактеризовать, как степень участия онлайн-курса в образовательном процессе. Онлайн курс может полностью заменять очную форму обучения, однако может и дополнять ее, комбинируя аудиторные и внеаудиторные занятия, снимая часть нагрузки с преподавателя и оптимизируя учебный процесс.

- Организация обратной связи с учащимися во время процесса обучения.

Онлайн курс, посредством инструментов “форум”, ”чат”, а также ”взаимное рецензирование” должен организовывать процесс общения преподавате-

ля и студентов между собой. Это также необходимо для оптимизации учебного процесса.

Также необходимо понимать, что хоть онлайн-курс и предоставляет широкие возможности для автоматизации процесса обучения, но все равно требует контроля преподавателя.

### **1.3 Проектирование элементов электронного курса “Методы расчета устойчивости энергосистем” в соответствии с современными требованиями к профессиональной подготовке инженерных кадров**

В данное время, современная подготовка инженеров предполагает соответствие их обучения интегрированному профессиональному образованию, в своей конечной форме содержащей у обучающегося набор ключевых профессиональных компетенций, представляемых как сумма обобщенных, но при этом разнообразных качеств, умений и знаний, универсальных и гибких способностей, позволяющих решать обширные задачи, от непосредственно профессиональных и социальных, до задач разработки и внедрения инноваций в профессиональной области.

Компетентностная модель обучающегося представляет собой сумму компетенций, созданных на основе требований будущих работодателей и определяющих конечные требования к реализации основных образовательных программ. При изучении учеником специальных учебных модулей, дисциплин и определенных дидактических единиц, интегрированных в эти дисциплины, у обучающегося происходит усвоение определенных компетенций. Таким образом большое значение имеет задача формулирования всех компетенций до понятного и логичного уровня, структурирования таких компетенций и проектирования таких образовательных программ, которые позволят сформировать у обучающегося необходимые компетенции. [23].

В этих условиях, при проектировании электронного курса “Методы расчета устойчивости энергосистем” мы руководствовались тем, что студент должен четко понимать и осмысленно применять математический аппарат, на котором основывается определение статической и динамической устойчивости энергосистем [4].

В процессе изучения курса студенты должны получить представления о математических основах методов моделирования переходных процессов в энергосистемах, в том числе об основах дифференциального исчисления, операторных методах, матричной форме записи систем линейных дифференциальных уравнений; о передаточных функциях и частотных характеристиках линейных систем; математических методах анализа статической устойчивости энергосистем; математической модели регулируемой одномашинной энергосистемы; практических методах расчета апериодической статической устойчивости энергосистем; методах расчета динамической устойчивости энергосистем.

Также, студенты должны будут выполнить контрольные тесты по каждому разделу и выполнить две лабораторных работы – “выбор коэффициентов усиления АРВ СД генератора одномашинной энергосистемы” и “построение области допустимых режимов по апериодической статической устойчивости трехмашинной энергосистемы” [4]. Все лабораторные работы необходимо выполнить в формате взаимного рецензирования.

## **1.4 Обоснование выбора системы управления курсами**

### **1.4.1 Общие сведения**

В настоящее время широкое распространение получил термин E-Learning, который означает обучение в электронной форме с широким использованием интернет сетей и мультимедиа контента. Для обучающегося носителем системы интернет обучения являются HTML страницы, на которых должны быть представлены все сведения, необходимые при обучении.

При разработке учебных курсов преподавателю необходимо пользоваться системами разработки и управления учебными курсами. К основным требованиям к таким системам относятся:

- *Функциональность.* Функциональная система управления обучением должна включать в себя в виде модулей различные чаты, форумы и т.д.

- *Надежность.* Надежностью системы дистанционного обучения можно назвать ее способность противостоять внешним возмущениям и сохранять стабильность работы в любых режимах;

- *Наличие средств разработки контента.* Наличие интегрированной системы разработки учебного контента, позволяющего облегчить разработку электронного курса;

- *Поддержка SCORM* – международного стандарта обмена информацией между электронными курсами, увеличивающий мобильность данной платформы;

- *Наличие системы оценки и проверки знаний.* Такая система позволяет в режиме реального времени оценивать уровень знаний обучающихся и включает в себя различные задания, тесты и элементы мониторинга активности студентов внутри системы;

- *Удобство работы с системой.* Система должна быть простой для освоения и ориентации в ней как для преподавателя, так и для студентов..

- *Модульность.* Требование, определяющее необходимость представления учебного материала и элементов курса в виде модулей, которые также могут использоваться в других курсах.

- *Простота доступа.* Характеризует возможность системы предоставлять к себе доступ для обучающихся в любое время и в любом месте при наличии только персонального компьютера и доступа к интернету. Также, необходимо, чтобы программное обеспечение, на основе которого создана система, поддерживалось максимально большим числом ПК.

• *Мультимедийность.* Система управления обучением должна поддерживать современные мультимедиа – технологии: аудиофайлы, видеофайлы, различные анимации и прочие интерактивные элементы форматы.

• *Перспективы развития платформы.* С Используемая система должна быть постоянно поддерживаться разработчиком и улучшать как своей функционал, так и совершенствовать информационные технологии, на которых она основана.

• *Кросс-платформенность СДО.* Система должна обеспечивать свою работу под максимально возможным количеством операционных систем на всех уровнях работы – как клиентском, так и серверном.

• *Качество технической поддержки.* У системы должна быть техническая поддержка как от разработчика, так и от собственных технических специалистов учебной организации. Техническая поддержка должна устранять ошибки, консультировать преподавателей по вопросам использования курса и вносить необходимые изменения в код системы.

• *Наличие (отсутствие) русской локализации продукта.* Локализованная версия продукта более дружелюбная как для администрирования, разработки курсов, так и для конечных потребителей образовательных услуг. [24].

## 1.4.2 Сравнительный анализ систем управления обучением

Наибольший интерес для данного исследования представляют следующие системы управления обучением: ATutor, Claroline, Dokeos, LAMS, Moodle, OLAT, OpenACS, Sakai. В таблице ниже представлены сравнительные характеристики этих систем.

Таблица 1 – Анализ OpenSource LMS\LCMS [24]

Система управления обучением (Learning Management System – LMS)	ATutor	Claroline	Dokeos	LAMS	Moodle	OLAT	OpenACS	Sakai
Лицензия	GPL	GNU/GPL	GNU/GPL	Open Source	GNU	Open Source	GNU	ECL
Количество пользователей	300	685	1000	100	130000	100	1000	5000
Многоязыковой интерфейс	Да (более 30 языков)	Да (более 30 языков)	Да (34 языка)	Да (19 языков)	Да(54 языка)	Да (8 языков)	Нет	Да(10 языков)
Поддержка русского языка	Да	Да	нет	частично	Да	Нет	Нет	Да
Поддержка SCORM	планируется в 2007	Да	Да	нет	да	да	нет	д
Поддержка IMS	планируется	Да	Да	нет	да	да	нет	да
Структура	ядро+набор модулей	монолитная	ядро+набор модулей	монолитная	ядро+набор модулей	монолитная	модульная	ядро+набор модулей
Возможность расширения	Да за счет внешних модулей	зависит от разработчиков	Да за счет внешних модулей	зависит от разработчиков	Да за счет внешних модулей	зависит от разработчиков	зависит от разработчиков	Да за счет внешних модулей
Дополнительное ПО	Apache, MySQL, PHP	Apache, MySQL, PHP	Apache, MySQL, PHP	Apache, JBOSS, Tomcat, MySQL	Apache, MySQL, PHP	Java SDK	AOLServer, Oracle, PostgreSQL	MySQL, Oracle
Платформа	Windows, Linux, Unix, MacOS	Windows, Linux, Unix, MacOS	Windows, Linux, Unix, MacOS	Windows, MacOS	Windows, Linux, Unix, MacOS	Linux, Unix	Windows, Linux, Unix, MacOS	Windows, Linux, Unix, MacOS
Система тестирования	да	да	да	да	да	да	да	да
Поддержка внешних тестов	нет	нет	нет	нет	да	да	нет	да
Надежность сервера (0-5 баллов)	3	3	3	3	4	3	3	4

Надежность сервера (0-5 баллов)	3	3	3	3	4	3	3	4
Стабильность сервера (0-5 баллов)	3	4	3	4	5	2	3	4
Ограничение на количество слушателей	нет	20000	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Среда разработки учебного материала	встроенная	встроенная	встроенная	встроенная	встроенная	встроенная	встроенная	встроенная
Система проверки знаний	тесты	тесты, упражнения	тесты	тесты	тесты, задания, семинары, активность на форумах	тесты, задания	тесты	тесты, задания, активность на форумах
Система отчетности	слабо развита	средне развита	средне развита	слабо развита	развита, постоянно развивается	слабо развита	слабо развита	развита, постоянно развивается

Анализ данной сравнительной таблицы показывает, что наибольший интерес среди систем с открытым кодом представляет LMS Moodle. Она удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к современным СДО, имеет крайне гибкую возможность настройки различных параметров, хорошо показывает себя в тестах стабильности и, что немаловажно, обладает большим сообществом русскоязычных пользователей и русскоязычной техподдержкой [24].



## **1.5 Структура электронного курса “Методы расчета устойчивости энергосистем”**

### **1.5.1 Общие сведения об электронном курсе**

Электронный курс “Методы расчета устойчивости энергосистем” предназначен для поддержки очной формы и контроля прохождения обучения.

Целью изучения курса “Методы расчета устойчивости энергосистем” является повышение математической подготовки инженеров-электриков и приобретение навыков анализа сложных электромеханических процессов, происходящих в электроэнергетических системах. Необходимость изучения курса обусловлена большим разнообразием и высокой размерностью цифровых моделей энергосистем, практическое применение которых при отсутствии глубокого понимания моделируемых явлений неизбежно приводит к появлению логических ошибок, как при постановке задач, так и при анализе получаемых решений.

Курс предполагает изучение студентами лекционного материала в любой последовательности, прохождение тестирований, выполнение практических и лабораторных работ.

### **1.5.2 Структура электронного курса**

Электронный курс “Методы расчета устойчивости энергосистем” разделен на шесть разделов, соответствующих главам в основном учебном пособии курса:

- Математические основы моделирования переходных процессов в энергосистемах
- Передаточные функции и частотные характеристики линейных систем

- Математические методы анализа статической устойчивости электроэнергетических систем

- Математическая модель регулируемой одномашинной энергосистемы

- Практические методы расчета апериодической статической устойчивости энергосистем

- Методы расчета динамической устойчивости энергосистем

- Каждый раздел содержит следующие элементы:

- Информация о разделе

- Календарный рейтинг – план по разделу

- Соответствующая тематике раздела глава учебного пособия “Методы расчета устойчивости энергосистем”

- Индивидуальные задания, включающие в себя задачи для самостоятельного выполнения

Разделы 4 и 5 включают в себя задания на выполнение и взаимное рецензирование лабораторных работ “Выбор коэффициентов усиления АРВ СД генератора одномашинной энергосистемы” и “Построение области допустимых режимов по апериодической статической устойчивости трехмашинной энергосистемы” соответственно.

Дополнительно в курсе имеются средства общения между студентами и преподавателем – элементы форум и чат, глоссарий, обсуждение вопросов и отзывов.

Также в каждом разделе представлены дополнительные материалы - ссылки на статьи по методам расчета устойчивости энергосистем, тематические сайты, а также медиаматериалы.

### 1.5.3 Порядок реализации электронного курса

В течении семестра перед студентом стоят следующие задачи:

1. Изучение лекционного материала, представленного элементом “Книга”.
2. Выполнение индивидуальных заданий по каждому из разделов курса. Важно, чтобы эти задания были выполнены и размещены в электронном курсе студентом в срок и в соответствии с правилами оформления индивидуальных заданий. Примеры их выполнения, а также требования к оформлению и срокам сдачи представлены в информационной части курса.
3. Выполнение тестов по каждому из разделов курса для закрепления теоретических знаний.
4. Выполнение и взаимная оценка студентами лабораторных работ. Лабораторные работы также должны быть выполнены в соответствии с требованиями и представлены в определенный срок.

Преподаватель должен организовать поддержку корректной работы курса и взаимодействие студентов между собой.

Для общения со студентами могут быть использованы информационные страницы, элементы форум и чат, где студенты могут проконсультироваться с преподавателем в онлайн и оффлайн режиме.

Для контроля правильности и сроков прохождения студентом курса используются элементы “Календарь” и “Журнал оценок”. Правильность прохождения тестов выполняется системой автоматически, индивидуальные задания и лабораторные работы преподаватель должен проверять самостоятельно и выставлять оценки в “Журнал оценок”.

В конце прохождения курса студент должен набрать минимальное количество баллов.

## 1.6 Выводы по главе 1

В первой главе магистерской работы, основной задачей которой являлось создание элементов электронного курса “Методы расчета устойчивости энергосистем”, было выполнено следующее:

1. Проведен анализ литературы по методам расчета устойчивости энергосистем, сформулирована задача исследования устойчивости энергосистем.

2. В соответствии с современными требованиями к профессиональной подготовке студентов, была выявлена необходимость создания электронного обучающего курса.

3. Сформулированы основные задачи и требования к системе электронного обучения, проанализированы существующие системы и выбрана система Moodle.

4. Созданы элементы электронного курса “Методы расчета устойчивости энергосистем”, произведена его настройка и наполнение учебным материалом.

Основными задачам исследования устойчивости энергосистем является: определение предельных режимов по апериодической статической устойчивости, оценка колебательной статической устойчивости энергосистем, выбор настроечных параметров систем автоматического регулирования, исследование динамических свойств энергосистем (электромеханические переходные процессы), анализ динамической устойчивости при различных аварийных ситуациях и выбор противоаварийных мероприятий и настройка устройств противоаварийной автоматики.

Проектирование электронных курсов выполняется в специальных системах проектирования электронных курсов, которые должны удовлетворять таким требованиям, как простота работы, надежность, стабильность, кросс-платформенность и т.д. наибольший интерес среди систем с открытым кодом

представляет LMS Moodle. Она удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к современным СДО, имеет крайне гибкую возможность настройки различных параметров, хорошо показывает себя в тестах стабильности и, что немаловажно, обладает большим сообществом русскоязычных пользователей и русскоязычной поддержкой.

## **Глава 2 Разработка и методика применения компьютерного лабораторного практикума по дисциплине «Методы расчета устойчивости энергосистем»**

### **2.1 Особенности применения компьютерного лабораторного практикума**

В современном образовательном процессе компьютер занимает одно из главных мест – как мощный инструмент, используемый для передачи, обработки и хранения информации. Использование компьютерного моделирования в учебном процессе, в частности, в организации лабораторного практикума имеет широкое применение и является целесообразным и полезным при изучении дисциплины «Методы расчета устойчивости энергосистем».

В процессе обучения студент должен уметь обращаться с информацией, осуществляя при ее освоении целостный познавательный процесс. Однако студенту необходимы и навыки самостоятельного поиска информации, с целью эффективной подготовки к работе со справочными материалами, библиотечными ресурсами и автоматизированными системами, и информационными сетями, которые потребуются в производственном процессе.

Соответственно в лабораторном практикуме должна содержаться базовая информация по дисциплине, а более подробную информацию студент должен найти сам, используя список рекомендованной преподавателем литературы.

Применение современных информационных технологий в обучении имеет несколько направлений [25]:

- проверка знаний с использованием ПК;
- моделирование различных процессов при помощи компьютера, в рамках лабораторных работ;
- использование мультимедийных технологий;
- самообразование с использованием ПК.

За последнее десятилетие компьютерные технологии стали неотъемлемой частью образовательного процесса, они используются для исследований различного рода, как средство моделирования различных физических систем (например, биологических или химических процессов). Однако у компьютерного моделирования имеются отрицательные стороны, зачастую студенты не знают, как в реальности выглядят те или иные механизмы и явления, так что если есть возможность проведения реального опыта, то нельзя ее упускать.

Также, информационные технологии очень эффективны при самообразовании, что связано, по всей видимости, с высочайшим удобством и быстрой скоростью при поиске той или иной информации.

За счёт того, что современные информационные технологии обладают огромными возможностями в области визуализации тех или иных данных, графиков, физических процессов, математических закономерностей, их использование в непосредственном образовательном процессе также повышает его эффективность.

Из этого можно сделать вывод, что информационные технологии существенно повышают качество и удобство образования [25].

## **2.2 Описание существующего лабораторного практикума по дисциплине «Методы расчета устойчивости энергосистем»**

Данный лабораторный практикум предполагает выполнение студентами двух лабораторных работ. Данные лабораторные работы выполняются последовательно и соотносятся с прохождением лекционного материала по дисциплине «Методы расчета устойчивости энергосистем», позволяя студенту ознакомиться с основными аспектами математических методов расчета статической устойчивости энергосистем, а также закрепить знания, полученные во время лекционных занятий.

Данные лабораторные работы построены таким образом, чтобы методических указаний к ним было достаточно для самостоятельного выполнения студентом лабораторных работ, что в то же время не предполагает полной автономности при выполнении работ.

### **2.2.1 Описание лабораторной работы №1 “Выбор коэффициентов усиления АРВ СД генератора одномашинной энергосистемы”**

Целью данной лабораторной работы является освоение методологии определения коэффициентов усиления автоматического регулирования возбуждения СД при оценке статической устойчивости посредством методы D - разбиения, а также с использованием частотных и алгебраических критериев устойчивости [4].

В данной лабораторной работе используется одна схема замещения энергосистемы, вариантность обеспечивается путем задания различных численных значений коэффициентов усиления АРВ СД генератора  $K_{OU}$ ,  $K_{IU}$ . Причем выбор этих коэффициентов следует выполнять таким образом, чтобы энергосистема сохраняла свою устойчивость в различных режимах работы без изменения (перенастройки) этих коэффициентов, что должно обеспечиваться использованием в процессе анализа статической устойчивости энергосистемы таких параметров как мощности и взаимные углы электростанций.

При этом варьируемым параметром является мощность генератора  $P_0$  для различных режимов работы энергосистемы  $P_{0(1)}$  и  $P_{0(2)}$ .

Все расчеты в данной лабораторной работе производятся при помощи системы компьютерной математики Mathcad.

Отчет по работе оформляется средствами Microsoft Word. Отчет должен содержать цель работы, краткие теоретические сведения, схему электропередачи, схему замещения, параметры этих схем, пункты задания и контрольные вопросы, результаты расчета и анализа, ответы на вопросы. Все



расчеты должны сопровождаться текстовыми пояснениями и указанием размерностей величин.

Данная лабораторная работа приведена в приложении Б.

### **2.2.2 Описание лабораторной работы №2 “Построение области допустимых режимов по апериодической статической устойчивости трехмашинной энергосистемы”**

Целью данной лабораторной работы является изучение методологии построения областей статической устойчивости энергосистем, а также овладение навыками построения областей допустимых режимов по статической устойчивости [4].

В данной лабораторной работе необходимо построить область допустимых по статической апериодической устойчивости режимов работы энергосистемы, а также найти координаты точек границы области статической устойчивости, что должно быть выполнено при помощи метода последовательного утяжеления режима.

Лабораторная работа проводится для одной схемы трехмашинной энергосистемы, вариантность задается различными длинами линий.

При анализе полученной области допустимых режимов следует оценить соответствие располагаемых активных мощностей электростанций Г1, Г2 и ограничений на передачу этих мощностей по условиям статической устойчивости.

Все расчеты в данной лабораторной работе производятся при помощи программных комплексов Mathcad, Rastr, Mustang и Excel.

Отчет по работе оформляется средствами Microsoft Word. Отчет должен содержать цель работы, краткие теоретические сведения, схему электропередачи, схему замещения, параметры этих схем, пункты задания и контрольные вопросы, результаты расчета и анализа, ответы на вопросы. Все

расчеты должны сопровождаться текстовыми пояснениями и указанием размерностей величин.

Данная лабораторная работа приведена в приложении В.

### **2.3 Обоснование необходимости дальнейшего развития лабораторного практикума**

Выше было показано, что целью данной лабораторной работы является освоение методологии определения коэффициентов усиления автоматического регулирования возбуждения СД при оценке статической устойчивости посредством метода D - разбиения, а также с использованием частотных и алгебраических критериев устойчивости [4], а также изучение методологии построения областей статической устойчивости энергосистем и овладение навыками построения областей допустимых режимов по статической устойчивости.

В данных лабораторных работах все вычисления производятся для уже эквивалентированной одно- и трехмашинной энергосистемы, что лишает преподавание данного учебно-методического курса практической наглядности. В условиях реальной производственной деятельности в процессе анализа устойчивости энергосистем выпускник данного направления подготовки будет встречаться с разветвленными кольцевыми энергосистемами, состоящими из большого числа разнообразных потребителей, генераторов и установок приема и преобразования электроэнергии. В этой связи возникает необходимость подготовить студента первоначально эквивалентировать энергосистему и только потом оценивать ее устойчивость.

Также, существующие в данный момент в рамках учебно-методического комплекса лабораторные работы не затрагивают такого важного раздела дисциплины «Методы расчета устойчивости энергосистем», как динамическая устойчивость.

В связи с этим возникает необходимость дальнейшего развития лабораторного практикума, а именно, создание лабораторных работ, в процессе выполнения которых студент бы оценивал устойчивость реальной разветвленной энергосистемы, а также анализировал математическими методами динамическую устойчивость данных энергосистем.

При этом стоит учитывать, что лабораторные работы должны выполнять следующие цели:

- приобретение практических навыков анализа предельных по апериодической статической устойчивости режимов энергосистем;
- приобретение практических навыков анализа динамической устойчивости энергосистем;
- ознакомление с понятием о численном интегрировании дифференциальных уравнений;
- изучением методов Эйлера, Тейлора, Рунге-Кутты четвертого порядка, прогноза и коррекции;
- овладение принципами численного решения систем дифференциальных уравнений;

Выполнение студентами данных лабораторных работ предполагает предварительное изучение ими (студентами) соответствующих теоретических разделов курса.

## **2.4 Обоснование выбора инструментальных средств для выполнения проектируемых лабораторных работ**

Все современные методы оценки устойчивости энергосистем базируются либо на численном решении систем дифференциальных уравнений, либо же на изучении корней характеристического уравнения системы.

И то и другое предполагает огромный объем символьных, либо же численных вычислений, в связи с чем при решении задач оценки устойчивости энергосистем важное и незаменимое место занимают компьютеры.

Они позволяют моделировать и изучать системы высокой сложности, на порядки сокращать время обработки информации и проведения операций вычисления, автоматизировать и визуализировать результаты анализа. При этом важное значение имеет то, что сам метод электронного моделирования каких-либо систем в современных условиях повсеместного распространения компьютеров открывает широкий и непрерывный доступ к обучению будущих специалистов соответствующим знаниям и навыкам.

Однако стоит учитывать, что даже самая совершенная модель все равно является лишь моделью, математическим в, данном случае, описанием реально существующего объекта и для полной и всесторонней подготовки кадров необходим практический опыт работы с энергетическими системами, либо же хотя бы с их отдельными частями.

Также стоит учитывать и тот факт, что сам процесс преподавания дисциплины «Методы расчета устойчивости энергосистем» во многом опирается именно на информационные технологии, в частности, в качестве основного учебно-методического комплекса используется электронный курс, базирующийся на системе управления обучением MOODLE.

Все вычисления, необходимые в лабораторных работах, выполняются тоже при помощи компьютеров.

Поэтому целесообразным будет перед описанием создаваемых лабораторных работ рассмотреть существующие на данный момент программные комплексы, способные выполнять задачи расчетов устойчивости энергосистем, а также обосновать их выбор.

## 2.4.1 Система компьютерной математики Mathcad

Программный пакет Mathcad является системой компьютерной алгебры, позволяющей создавать интерактивные документы, включающие в себя текст, формулы и графические результаты расчетов либо же графические отображения математических формул.

Благодаря использованию в работе с пакетом Mathcad принципа “WYSIWYG” программа обладает интуитивно понятным и дружелюбным интерфейсом, обладает обширной библиотекой встроенных функций и численных методов, возможностью символьных вычислений. Это способствует тому, что Mathcad является наиболее популярным математическим приложением, а аудиторией программы является самый широкий круг пользователей, от научных работников до инженеров и студентов.

Mathcad позволяет:

- выполнять символьные и численные вычисления различной степени сложности;
- использовать встроенные средства визуализации математических функций, а также результатов расчета;
- создавать алгоритмы решения задач при помощи встроенного языка программирования
- оформлять результаты решения задач в привычной математической форме, благодаря встроенному текстовому и графическому редакторам;
- обмениваться данными расчетов с другими приложениями, работающими в среде Windows;
- автоматически обновлять результаты расчетов и графики при изменении исходных данных;
- при помощи встроенного языка программирования, а также благодаря реализации принципа “WYSIWYG” использовать при записи условий привычную форму математических уравнений, принятую в литературе.

Основными достоинствами пакета Mathcad являются:

- простота использования;
- наглядность отображения результатов расчетов;
- отсутствие необходимости знания языков программирования – программа представляет математические формулы в их общепринятом виде;
- высокая степень интегрированности в пакет Microsoft Office;

К недостаткам можно отнести плохую адаптированность программы к работе с массивами данных.

### **2.4.2 Matlab Simulink**

Simulink является модулем математического пакета Matlab и представляет из себя “интерактивный инструмент для моделирования, имитации и анализа динамических систем”.

Благодаря обширной встроенной библиотеке различных элементов, в том числе и электротехнических, Simulink позволяет в короткие сроки создавать модели различных объектов и исследовать их с различных сторон.

Simulink позволяет:

- выстраивать блок-диаграммы при помощи интерактивной рабочей среды
- расширять и дополнять библиотеку элементов;
- проектировать многоуровневые иерархические многокомпонентные модели объектов и явлений;
- настраивать всевозможные параметры различных моделей при помощи встроенной функции Model Explorer;
- интегрировать готовые C/C++, FORTRAN, ADA и Matlab-алгоритмы в модель;
- взаимодействовать с другими программами моделирования;

- решать дифференциальные уравнений как для непрерывных, так и для дискретных, линейных и нелинейных объектов;
- производить имитационное моделирование нестационарных систем с помощью решателей с переменным и постоянным шагом или методом управляемого из Matlab пакетного моделирования;
- визуализировать выходные сигналы;
- отлаживать и анализировать созданные модели;

В целом Simulink является мощнейшим средством моделирования и анализа объектов и явлений, при этом обладая рядом недостатков, среди которых основным является необходимость серьезной первоначальной подготовки к работе с программой, а также знание специальных языков программирования.

### **2.4.3 Программный комплекс RastrWin**

Программный комплекс RastrWin предназначен для решения задач по расчету, анализу и оптимизации установившихся режимов электрических сетей и систем.

RastrWin позволяет:

- рассчитывать установившиеся режимы электрических сетей любого размера и сложности, напряжения а также всех параметров режима: токов, напряжений, потоков мощности и ее потерь во всех узлах и ветвях схемы;
- при расчете режимов учитывать частоту;
- производить контроль исходных данных;
- рассчитывать утяжеленный режим в соответствии с траекторией утяжеления;
- производить эквивалентирование электрических сетей;

- оптимизировать сети по уровню напряжения, потерям и распределению реактивной мощности;

- рассчитывать положение РПН трансформаторов и вольтодобавочных трансформаторов, а также учитывать изменение сопротивления трансформатора при изменении положения РПН;

- рассчитывать предельные по передаваемой мощности режимы энергосистемы;

- находить опасные сечения энергосистемы;

- анализировать потери мощности исходя из их структуры;

- моделировать генераторы посредством диаграмм мощности;

- учитывать в расчетах СХН;

- учитывать ограничения тока ротора и статора генератора;

- моделировать реакторы и батареи статических конденсаторов;

- производить анализ допустимой токовой загрузки ЛЭП и трансформаторов, в том числе с учетом зависимости допустимого тока от температуры;

- рассчитывать потребления, генерации, а также перетоки в сети по различным областям;

- сравнивать различные режимы работы сети по каким-либо параметрам.

К неоспоримым достоинствам программного комплекса RastrWin относится его изначальная специализация – решение задач расчета и анализа установившегося режима электрической сети. Также достоинством является наличие встроенного графического редактора, позволяющего наглядно изобразить моделируемую сеть и автоматически отображающего все изменения режимных параметров.



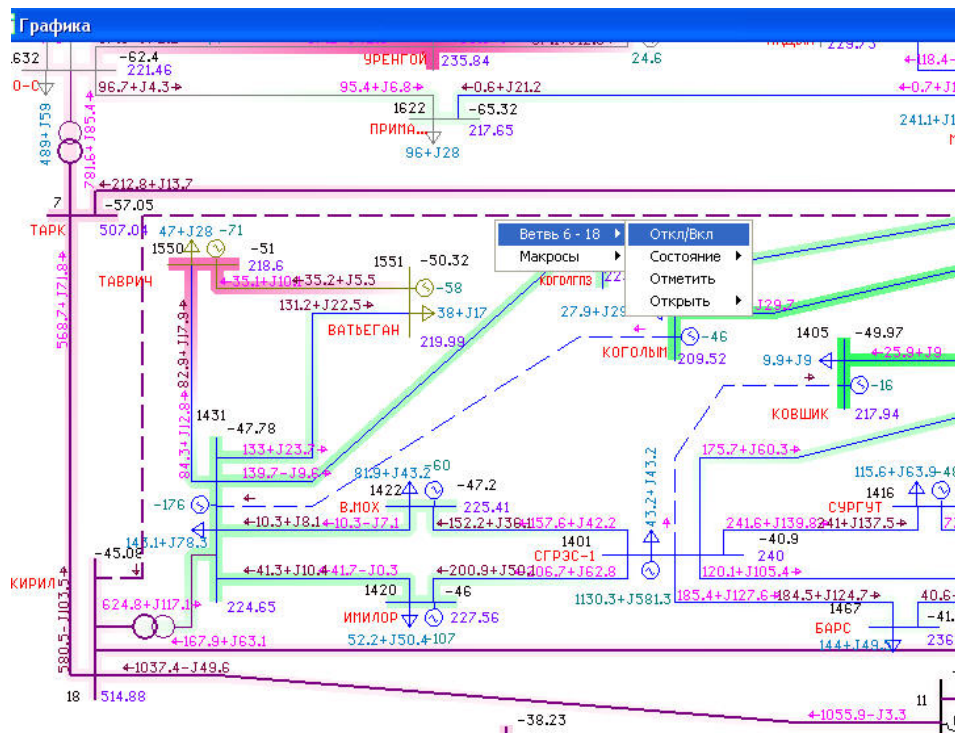


Рисунок 3 – Окно графического редактора RastrWin

## 2.4.4 Программный комплекс Mustang

Программный комплекс Mustang по своему назначению схож с ПК RastrWin. Он также предназначен для расчета и анализа режимов электрической сети, однако имеет одно важное преимущество – в нем присутствует возможность моделирования переходных процессов, то есть программа позволяет оценивать динамическую устойчивость энергосистем.

В области анализа установившегося режима электрической сети несколько уступает по функциональным возможностям ПК RastrWin, тем не менее позволяя:

- рассчитывать установившиеся режимы электрических сетей любого размера и сложности, напряжения, а также всех параметров режима: токов, напряжений, потоков мощности и ее потерь во всех узлах и ветвях схемы;
- при расчете режимов учитывать частоту;

- производить контроль исходных данных;
- рассчитывать утяжеленный режим, однако без учета траектории утяжеления;
  - оптимизировать сети по уровню напряжения, потерям и распределению реактивной мощности;
  - рассчитывать положение РПН трансформаторов и вольтодобавочных трансформаторов, а также учитывать изменение сопротивления трансформатора при изменении положения РПН;
  - рассчитывать предельные по передаваемой мощности режимы энергосистемы;
    - находить опасные сечения энергосистемы;
    - анализировать потери мощности исходя из их структуры;
    - учитывать в расчетах СХН;
    - моделировать реакторы и батареи статических конденсаторов;
    - производить анализ допустимой токовой загрузки ЛЭП и трансформаторов, в том числе с учетом зависимости допустимого тока от температуры;
  - рассчитывать потребления, генерации, а также перетоки в сети по различным областям;
  - моделировать переходные процессы в электрической сети с контролем заданных параметров;

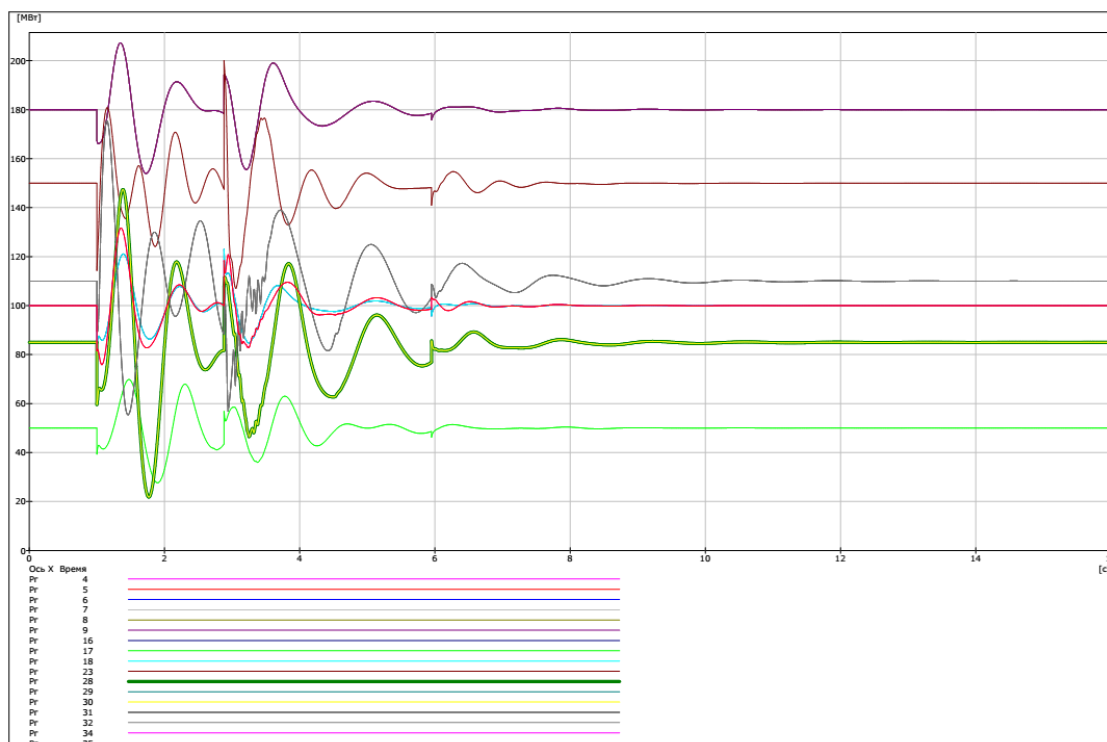


Рисунок 4 – Результаты расчета переходного процесса в ПК Mustang

Недостатком данного программного комплекса является отсутствие технической поддержки и обновлений (последняя версия программы вышла более десяти лет назад), а также отсутствие вменяемого графического редактора для построения схемы моделируемой сети.

Тем не менее данная программа по сей день используется при оценке динамической устойчивости энергосистем.

### 2.4.5 Microsoft Excel

Microsoft Excel является инструментом для работы с большими массивами данных. Он имеет возможность строить таблицы любой сложности, проводить расчеты с помощью встроенных функций, выполнять анализ расчетов, проводить поиск и упорядочение данных в таблицах, строить диаграммы и графики по имеющимся данным.

Microsoft Excel позволяет:

- выполнять всевозможные операции по вычислениям и математическим операциям с массивами данных;
- выполнять экстраполяцию и интерполяцию;
- осуществлять различные статические вычисления;
- работать с разами данных;
- проводить наглядную визуализацию любых типов данных;

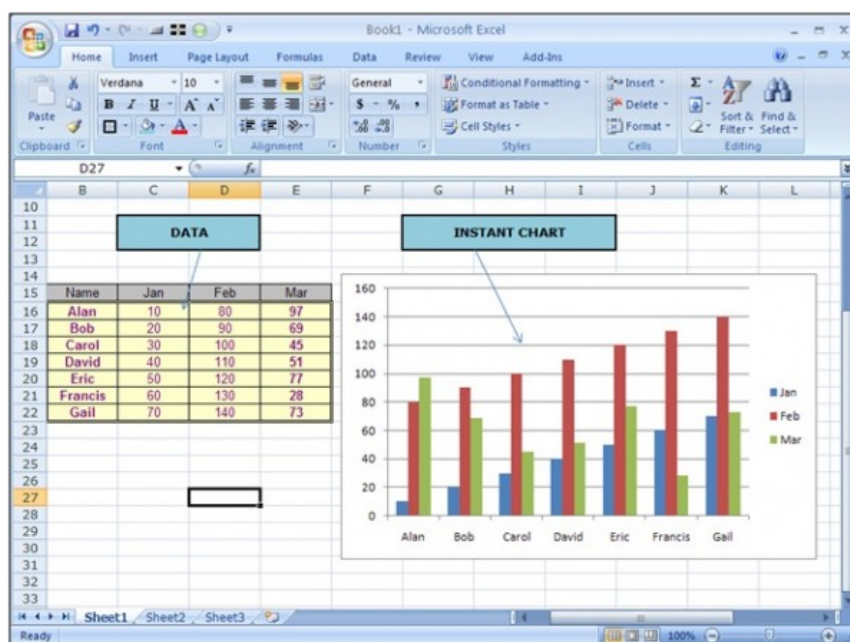


Рисунок 5 – Интерфейс программы Microsoft Excel

К недостаткам можно отнести специализацию программы – она не предназначена для серьезных математических расчетов или анализа электрических сетей. Excel предназначен исключительно для работы с массивами данных и их визуализации, что, тем не менее, должно помочь студентам при составлении отчетов по лабораторным работам.

## 2.4.6 Обоснование выбора программного обеспечения для проектируемых лабораторных работ

На основании представленного выше краткого анализа существующих и, что немаловажно, доступных программных средств и комплексов можно обосновать их применение в определенных этапах выполнения проектируемых лабораторных работ.

- расчет и анализ установившихся и утяжеленных режимов электрической сети – Mustang и RastrWin;
- расчет и анализ переходных процессов в электрической сети – Mustang;
- математическое описание моделируемых процессов и объектов – Mathcad и Matlab Simulink;
- визуализация больших объемов полученных в результате вычислений данных – Microsoft Excel.

Можно сделать вывод, что для решения задач, которые студент должен решить в процессе выполнения проектируемых лабораторных работ, подходят все описанные выше программные комплексы. Однако, в силу того, что пакет Matlab Simulink требует минимального начального уровня знания языков программирования, а также предварительной подготовки студента к работе с данным пакетом, Matlab Simulink решено не включать в список программного обеспечения, необходимого для выполнения проектируемых лабораторных работ.

## **2.5 Лабораторная работа № 2**

**Построение предельных и допустимых по статической устойчивости областей режимов работы энергосистем.**

### **2.5.1 Цель работы**

Изучить методологию построения областей статической устойчивости энергосистем, а также овладеть навыками построения предельных и допустимых по статической устойчивости областей режимов работы энергосистем.

### **2.5.2 Методика построения областей допустимых режимов энергосистем**

В соответствии с [4], запас статической устойчивости определяется как численная характеристика данного режима по сравнению с предельным по статической устойчивости режимом, при этом геометрическая трактовка определяется как удалённость точки отображения данного режима от границы области статической устойчивости. При этом, при решении практических задач, определение запаса устойчивости является довольно сложной и ресурсоёмкой операцией. В силу этого, вводятся специальные универсальные коэффициенты, характеризующие запас устойчивости рассматриваемого режима работы энергосистемы. Эти коэффициенты определяются как “коэффициенты запаса статической устойчивости электрических связей энергосистемы”.

### 2.5.3 Построение областей статической устойчивости сложных энергосистем

В соответствии с [4], областью статической устойчивости энергосистемы называется “множество ее режимов, в которых обеспечивается статическая устойчивость при неизменном составе генераторов и фиксированной схеме электрической сети”.

Строгое решение задачи проверки статической устойчивости установившегося режима требует:

- составление исходной системы дифференциальных уравнений;
- линеаризацию этих уравнений;
- составление характеристического уравнения и его исследование

[1].

Как было отмечено выше, в силу сложности полного исследования характеристического уравнения по математическим критериям, ограничиваются анализом статической апериодической устойчивости энергосистемы.

Нарушение статической апериодической устойчивости определяют по изменению знака свободного члена характеристического уравнения при ухудшении (утяжелении) режима, начиная с заведомо устойчивого состояния энергосистемы.

Свободный член характеристического уравнения  $a_n$  получают из определителя матрицы системы линеаризованных уравнений переходных процессов в исследуемой системе путем обнуления оператора дифференцирования (принимают  $p = 0$ ). При определенных условиях расчета коэффициент  $a_n$  может совпадать с якобианом  $J$ , то есть с определителем матрицы Якоби уравнений установившегося режима. Необходимость выполнения этих

условий связана с тем, что условия расчета установившихся режимов в общем случае отличаются от условий, используемых при анализе статической устойчивости.

Совпадение свободного члена характеристического уравнения энергосистемы и якобиана возможно при следующих условиях [5]:

- расчётная схема содержит шины бесконечной мощности (являющиеся при этом балансирующим узлом);
- напряжение рассматриваемого генератора является постоянной величиной и не изменяется (то есть системы автоматического регулирования возбуждения не имеют статизма);
- генераторы представляются как постоянная активная мощность и напряжение;
- статические характеристики нагрузки неизменны для всех режимов работы энергосистемы.

Если хотя бы одно из этих условий не выполняется, то по якобиану уравнений установившегося режима системы нельзя судить об апериодической устойчивости этого режима.

Построение областей статической устойчивости производится отображением на координатной плоскости параметров режима только тех параметров, которые оказывают влияние на устойчивость энергосистемы. К ним относятся углы между ЭДС генераторов и напряжением системы (балансирующего узла), активные мощности генерации и нагрузки, перетоки мощности по сечениям энергосистемы (сечением является совокупность электросетевых элементов, отключение которых приводит к изоляции частей энергосистемы, связываемых этими сечениями). Пример сечения показан на рис.1.1. Пользоваться областями и, соответственно, граничными поверхностями устойчивости в более чем трехмерном пространстве практически невозмож-



но, таким образом, необходимо всегда уменьшать количество изменяемых параметров.

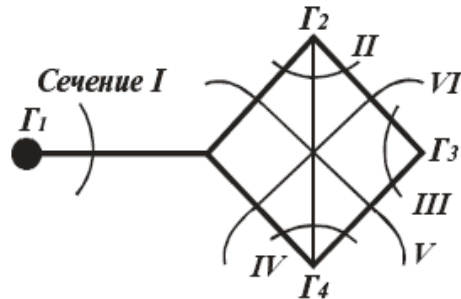


Рисунок 1.1 – Пример сечения энергосистемы

Поскольку изобразить область устойчивости в многомерном пространстве невозможно, обычно довольствуются ее двумерными сечениями. Такие сечения строятся при помощи операции фиксирования всех координат, кроме двух наиболее важных для решаемой задачи. Сечения области устойчивости в двумерном пространстве активных мощностей узлов имеют форму овальных плоских объектов (рис. 1.2). Для упрощения построения границ этих объектов иногда используют аппроксимирующие функции, которые позволяют построить границы сечений с погрешностью в несколько процентов.

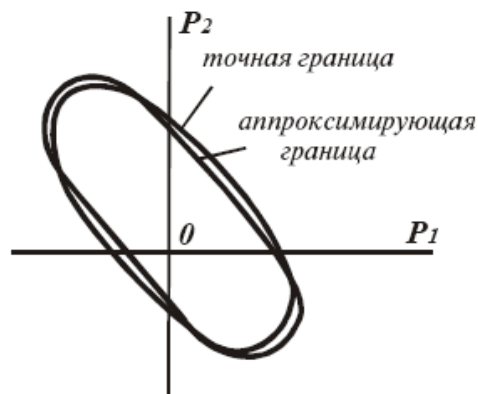


Рисунок 1.2 – Области устойчивости

Как видно из рис. 1.2, граничные значения потоков активной мощности имеют отрицательные и положительные значения. В тех случаях, когда в исследуемых узлах подключены только генераторы, энергосистема работает в областях, ограниченных первым квадрантом. При наличии мощной местной нагрузки, соизмеримой с эквивалентной мощностью генераторов узла, физический смысл имеет вся граница сечения [5].

На практике, для получения предельного режима производят процедуру утяжеления электроэнергетического режима, состоящую в последовательном приближении заведомо устойчивого режима к неустойчивому. Достижение неустойчивого режима происходит при нарушении сходимости итерационного процесса и также при изменении знака свободного члена характеристического уравнения.

#### **2.5.4 Построение областей допустимых по статической устойчивости режимов энергосистем**

Область допустимых режимов работы энергосистемы размещается внутри области статической устойчивости. Расстояния между границами этих областей определяются через нормативные значения коэффициентов запаса статической устойчивости:

$$K_u = \frac{U - U_{кр}}{U} \quad (1.1)$$

$$K_p = \frac{P_{np} - P}{P} \quad (1.2)$$

где  $U$  - длительно поддерживаемое напряжение в узловой точке системы;

$U_{кр}$  - критическое напряжение в этой же точке;

$P_{np}$  – предельная по условиям статической устойчивости мощность;

$P$  – передаваемая мощность.

Коэффициент запаса статической устойчивости по напряжению вводится для обеспечения статической устойчивости нагрузки. С помощью коэффициента  $K_p$  оцениваются запасы статической устойчивости генераторных узлов и сечений энергосистемы.

Согласно [4] в “нормальных режимах должны обеспечиваться запасы:  $K_p \geq 20\%$ ,  $K_u \geq 20\%$ . В утяжелённых режимах допускается значение  $K_p \geq 8\%$ ,  $K_u \geq 10\%$ ”. При определении коэффициента запаса статической устойчивости по активной мощности для межсистемных связей и сечений схемы необходимо учитывать нерегулярные колебания обменной между энергосистемами мощности:

$$K_p = \frac{P_{np} - (P + \Delta P_{HK})}{P_{np}} \cdot 100\% \quad (1.3)$$

где  $\Delta P$  - амплитуда нерегулярных колебаний мощности.

Амплитуда колебаний определяется либо по результатам замеров, либо по следующей формуле:

$$\Delta P_{HK} = K \cdot \sqrt{\frac{P_{H1} \cdot P_{H2}}{P_{H1} + P_{H2}}} \quad (1.4)$$

где  $P_{H1}$ ,  $P_{H2}$  – нагрузки частой энергосистемы, объединённых данным сечением, МВт;

$K$  – коэффициент, принимаемый равным 1,5 при ручном регулировании и 0,75 при автоматическом регулировании перетока мощности в сечении.

Максимально допустимый переток активной мощности  $P_{м.д.}$  определяется как:

$$P_{м.д.} = \frac{P_{нр}}{1 + K_{р.норм.}} \quad (1.5)$$

где  $K_{р.норм.}$  - нормативный коэффициент запаса активной мощности,

для случая, когда  $\Delta P = 0$ .

При расчете  $P_{м.д.}$  по формуле (2.5) предполагается, что  $P_{нр} > 0$ ,  $P_{м.д.} > 0$ ,  $P_{нр} > P_{м.д.}$ . Однако для каждой из координат области устойчивости или ее сечения существует два предела. На рис. 2.3 верхний и нижний пределы статической устойчивости обозначены точками  $P_{нр1}^B$  и  $P_{нр1}^H$ .

При этом возможны три основных варианта расположения этих пределов на плоскости:

- сечение а-а (по линии а-а оба предела отрицательны);
- сечение в-в (верхний предел положительный, а нижний отрицательный);
- сечение с-с (оба предела положительны).

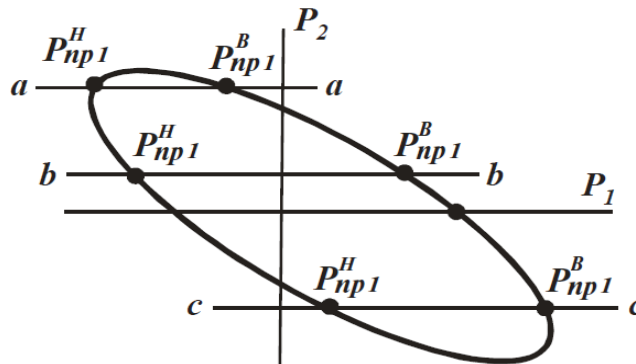


Рисунок 1.3 – Сечение области допустимых режимов по статической устойчивости

Учитывая, что всегда  $K_{р.норм.} > 0$ , формулы для определения  $P_{м.д.}^B$  и

$P_{м.д.}^H$  имеют вид:

$$P_{м.д.}^B = \frac{P_{нр}^B}{1 \pm K_{р.норм.}}; \quad (1.6)$$

$$P_{м.д.}^H = \frac{P_{нр}^H}{1 \pm K_{р.норм.}}. \quad (1.7)$$

Формулы (1.6, 1.7) справедливы для всех вариантов расположения пределов мощности на числовой оси, при этом необходимо учитывать знаки мощностей.

При построении областей устойчивости необходимо определить максимально допустимые перетоки как по координате  $P_1$ , так и по координате  $P_2$ .

В результате будут построены несколько отрезков, очерчивающих области допустимых режимов работы. В точках пересечения 1, 2, 3, этих отрезков координаты запаса статической устойчивости по координатам  $P_1$ ,  $P_2$  одинаковы. Область допустимых режимов изображается отрезками, для которых коэффициент запаса по первой оси выше значения  $K_{р.норм.}$ , а по второй равен этому значению.

Знаки знаменателей в формулах (1.6, 1.7) зависят от расположения пределов мощности по числовой оси.

Для первого варианта (сечение а-а):

$$P_{м.д.}^B = \frac{P_{нр}^B}{1 - K_{р.норм.}}; \quad (1.9)$$

$$P_{м.д.}^H = \frac{P_{нр}^H}{1 + K_{р.норм.}}. \quad (1.10)$$

Для второго варианта (сечение в-в):

$$P_{м.д.}^B = \frac{P_{нр}^B}{1 + K_{р.норм.}} \quad (1.11)$$

$$P_{м.д.}^H = \frac{P_{нр}^H}{1 + K_{р.норм.}} \quad (1.12)$$

Для третьего варианта (сечение с-с):

$$P_{м.д.}^B = \frac{P_{нр}^B}{1 + K_{р.норм.}} \quad (1.13)$$

$$P_{м.д.}^H = \frac{P_{нр}^H}{1 - K_{р.норм.}} \quad (1.14)$$




## 2.5.5 Выполнение лабораторной работы в ПК RastrWin

### Исходные данные

Рассматриваемая схема представляет из себя часть Томской энергосистемы на участке ПС Томская – ПС Парабель – ПС Советско – Соснинская – ПС Лугинецкая – ПС Двуреченская – ПС Игольская (Рис. 2.1). Исходная схема представляет собой файл режима электрической сети в формате \*.rg2 программы RastrWin.

Для построения графической схемы рассматриваемой энергосистемы необходимо воспользоваться инструментами “графика” ПК RastrWin.

Для нанесения на схему требуемого узла необходимо выбрать элемент

“ввод” . Для изменения точки присоединения узла к шине используется элемент “присоединение” , для создания и изменения изгиба ветви используется элемент “излом” .

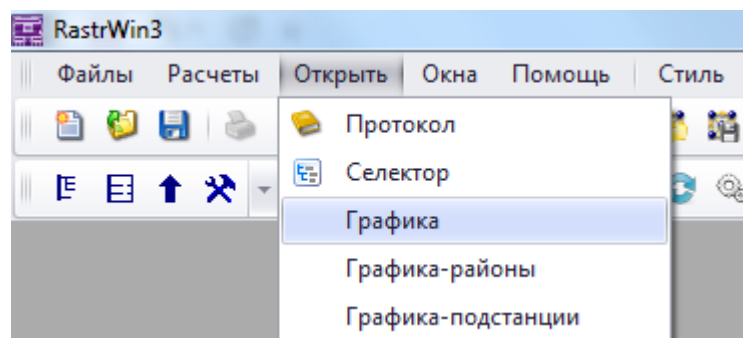


Рисунок 2.1 – Инструмент “Графика”

Для нанесения на схему требуемого узла необходимо выбрать элемент

Необходимо создать и сохранить наглядную схему рассматриваемой энергосистемы в формате \*.rgf.

### 2.5.6 Эквивалентирование исходной схемы

Для эквивалентирования исходной схемы используется подпрограмма “Эквивалентирование” ПК RastrWin.

Эквивалентирование – упрощение электрической сети – используется для уменьшения размера сети (числа узлов и ветвей), удаления ее фрагментов, не имеющих большого значения, и т.п.

При эквивалентировании различают три группы узлов:

- эквивалентируемые узлы – узлы, удаляемые из схемы;
- сохраняемые узлы – узлы, параметры которых остаются неизменными;

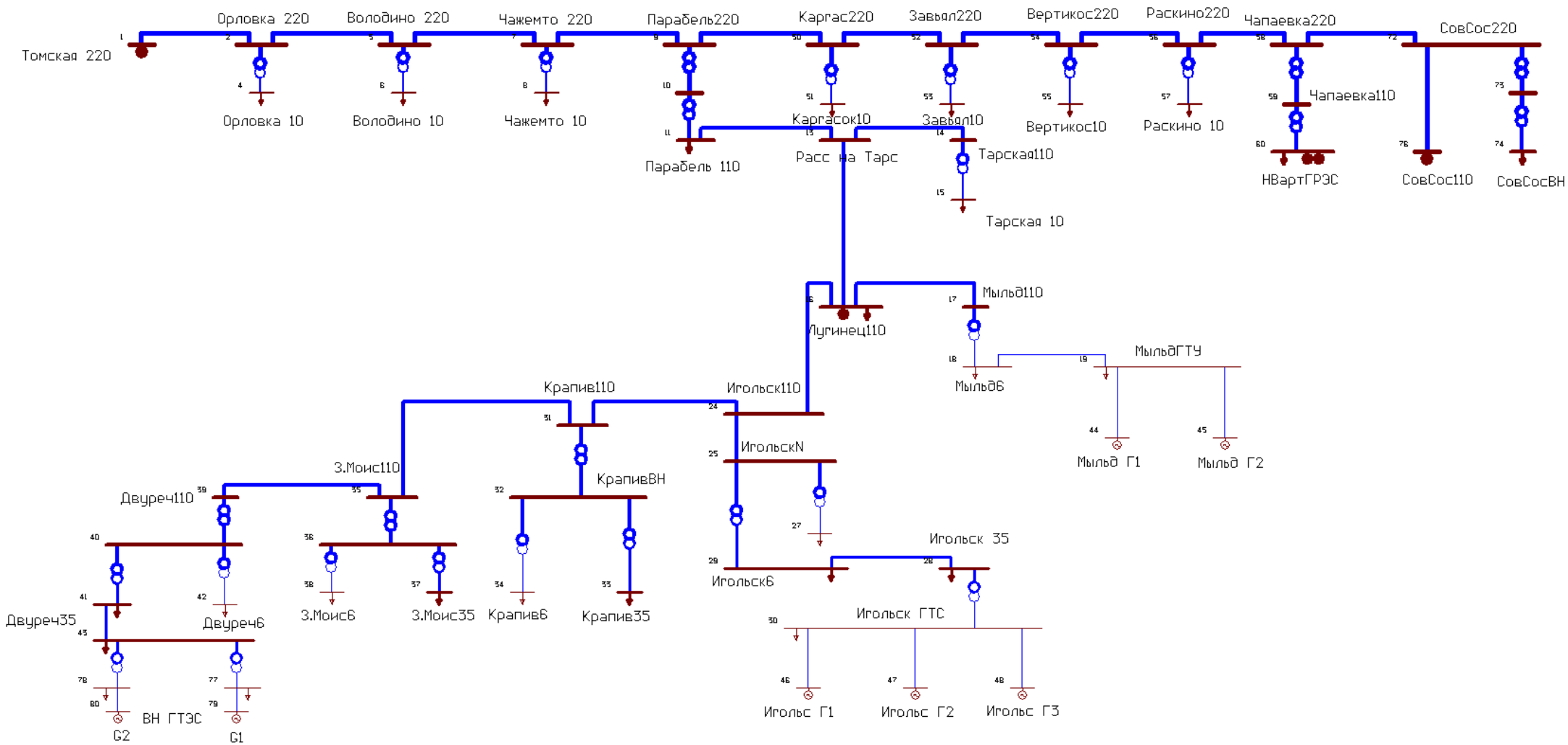


Рисунок 2.2 – Расчетная схема рассматриваемой энергосистемы



- узлы примыкания – сохраняемые узлы, связанные хотя бы с одним из эквивалентизируемых. После выполнения эквивалентирования в узлах примыкания появляются дополнительные мощности нагрузки и генерации, активные и реактивные шунты и ветви между этими узлами

Для получения эквивалента необходимо отметить либо эквивалентизируемые, либо сохраняемые узлы с помощью команд редактора индивидуально (первое поле O в таблице Узлы), в группе (Групповая коррекция, вызывается нажатием в таблице правой кнопки мыши) либо на графической схеме (правой кнопкой мыши по выбранному узлу – отметить; отмеченный узел окрасится в зеленый цвет) (Рис. 2.3).

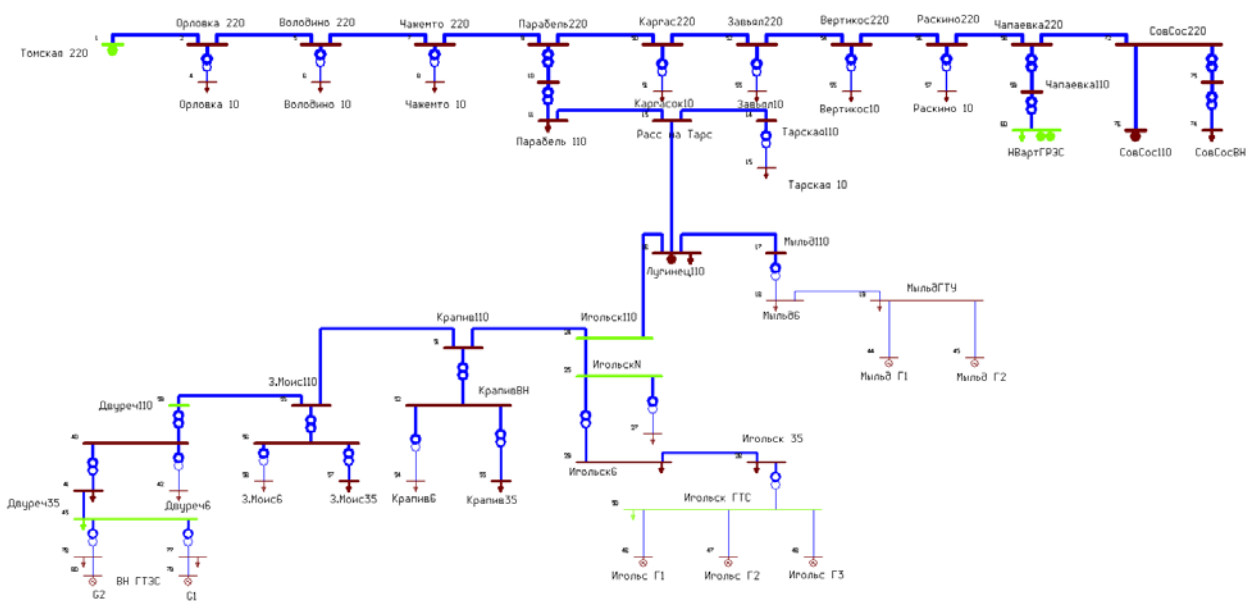


Рисунок 2.3 – Эквивалентизируемые узлы

Установив требуемые параметры эквивалентирования (меню Расчет – Параметры – Эквивалент) (рис. 2.3), выполнить команду Эквивалент в меню Расчет.

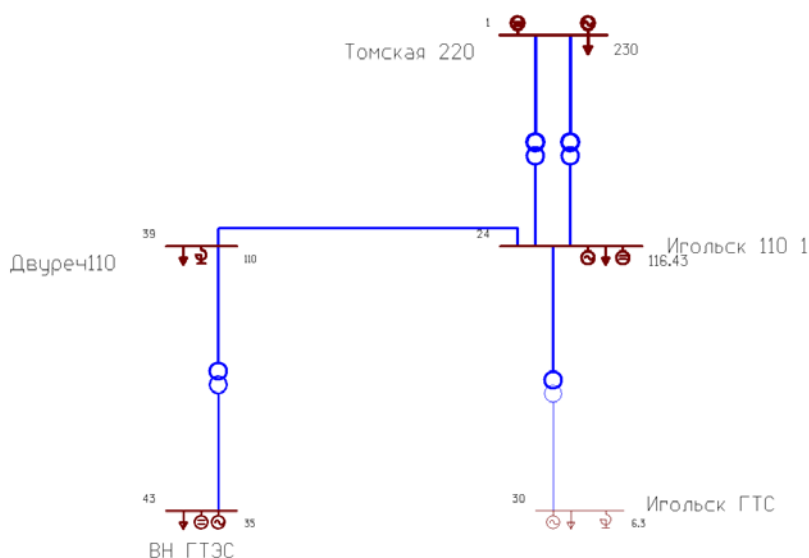
Узлы		Ветви		Графика		Эквивалент	
Название							
Отмеченные узлы: (Отмеч)						Сохранить	
Эквивалент узлов с фикс V (фиксV)						Эквивалентировать	
Учет потерь при разносе генерации: (dP_Ген)						Сохранить	
Доля нагрузки, пересчитываемая в шунт (d_наг)							
Доля генерации, пересчитываемая в шунт (d_ген)							
Удаление ветвей с сопротивлением большим: (Z_max)						9 999	
Пересчет шунтов в нагрузку в узлах примыкания (Ш-наг)						Нет	
Отмечать узлы после эквивалентирования (Отм)						Да	

Рисунок 2.4 – Настройки эквивалентирования

Эквивалентирование требует предварительно сбалансированного режима. Если режим несбалансирован, автоматически выполняется предварительная балансировка. Эквивалентирование не может быть выполнено для разошедшегося расчета режима. Эквивалентная схема становится текущей, замещает исходную и является сбалансированной.

Для эквивалентирования схемы необходимо сохранить следующие узлы: узел 1 (Томская 220), узел 24 (Игольская 110), узел 30 (Игольская ГТС), узел 39 (Двуреченская 110), узел 43 (ВН ГТЭС).

Схема после эквивалентирования представлена на рисунке 2.5.



### 2.5.7 Расчет утяжеленного режима

При утяжелении режима производится расчет серии установившихся режимов при изменении параметров в соответствии с заданной траекторией утяжеления. Критерием нахождения предельного режима является сходимость расчета режима. Дополнительным критерием нахождения предельного режима может служить достижение экстремума (максимума или минимума) по отмеченным контролируемым величинам (мощности по сечениям, потерям, напряжениями и т.д.). Утяжеление выполняется для определения предельных перетоков мощности по сечениям (наборам линий, без которых сеть разделяется на два несвязных района).

Процедура утяжеления заключается в следующем:

задается множество узлов, в которых будет осуществляться изменение параметров режима (изменение нагрузки, генерации, модуля напряжения для регулируемых узлов, угла напряжения для балансирующих узлов), со значениями их приращений. Это множество называется траекторией утяжеления;

проводится серия расчетов режимов при последовательном изменении утяжеляемых параметров на заданную величину;

при аварийном окончании одного из расчетов осуществляется возврат к последнему из сбалансированных режимов, и следующее приращение выполняется на величину в два раза меньшую предыдущей (деление шага пополам);

последняя процедура повторяется до тех пор, пока не будет достигнут предельный режим с заданной точностью.

В данной лабораторной работе утяжеление задается следующим образом:

### 2.5.8 Подготовка схемы установившегося режима

Утяжеление производится в четыре этапа.

На первом этапе необходимо задать мощность эквивалентного генератора в узле 43 0 МВт, а мощность эквивалентного генератора в узле 30 9 МВт, после чего рассчитать установившийся режим (клавиша F5). При этом недостаток активной мощности будет скомпенсирован базисным узлом 1. (Рисунок 2.5).

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	V_ш	V	Delta
1	<input type="checkbox"/>		Ген	43	ВН ГТЭС	35			15,2	9,1	90,3	35,0		-10 000,0	10 000,0	-17 191,8	35,00	-74,97
2	<input type="checkbox"/>		Нагр	39	Двуреч110	110			34,8	17,2						1 515,6	105,86	-72,83
3	<input type="checkbox"/>		База	1	Томская 220	230			224,2	230,4	425,2	76,0	230,0	-10 000,0	10 000,0	-4 736,1	230,00	
4	<input type="checkbox"/>		Ген	30	Игольск ГТС	6			20,0	7,8	9,0	41,2	6,3	-10 000,0	10 000,0	296 81...	6,30	-67,68
5	<input type="checkbox"/>		Нагр	24	Игольск 110 1	115			140,6	24,4	69,4	-36,7				-9 124,8	102,73	-64,62

Рисунок 2.6 – Первый этап утяжеления

### 2.5.9 Задание траектории утяжеления

На первом этапе утяжеление производится посредством увеличения генерации эквивалентного генератора узла 30. Для этого необходимо перейти во вкладку “Траектория – Приращения\_Узлы” (Рис. 2.7) и задать для узла 30 шаг утяжеления 10 МВт (Рис. 2.8).

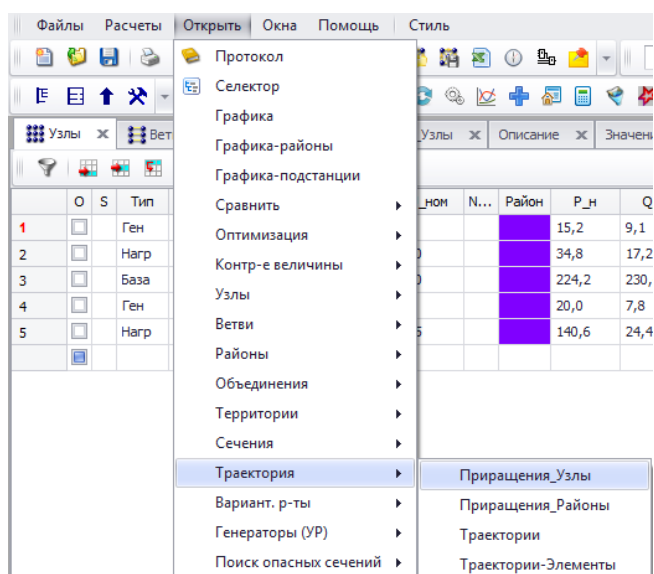


Рисунок 2.7 – Траектория – Приращения\_Узлы

S	Тип	Номер	dP_наг	dQ_наг	Tg	dP_ген
1	Обычный	30			<input type="checkbox"/>	10

Рисунок 2.8 – Шаг утяжеления узла 30

### 2.5.10 Задание контролируемых параметров утяжеления

Контролируемым параметром утяжеления для каждого этапа является мощность эквивалентного генератора **утяжеляемого узла**. Например, для первого этапа утяжеления контролируемым параметром является  $P_{г\_30}$ .

Перед заданием контролируемых параметров необходимо перейти во вкладку “Расчеты – Параметры – Утяжеление” и произвести следующие настройки утяжеления:

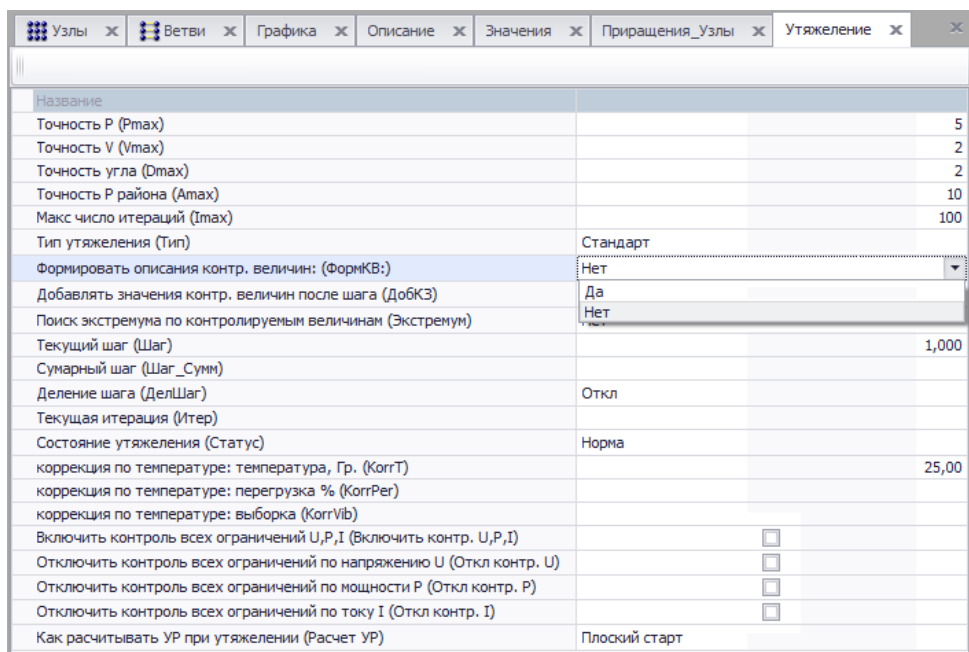


Рисунок 2.9 – Настройка контролируемых параметров утяжеления

Далее необходимо задать контролируемые параметры утяжеления. Для этого необходимо перейти во вкладку “Узлы”, навести курсор на ячейку P<sub>г</sub> узла 30, нажать правую клавишу мыши и выбрать “Добавить в КВ” (Рис 2.10).

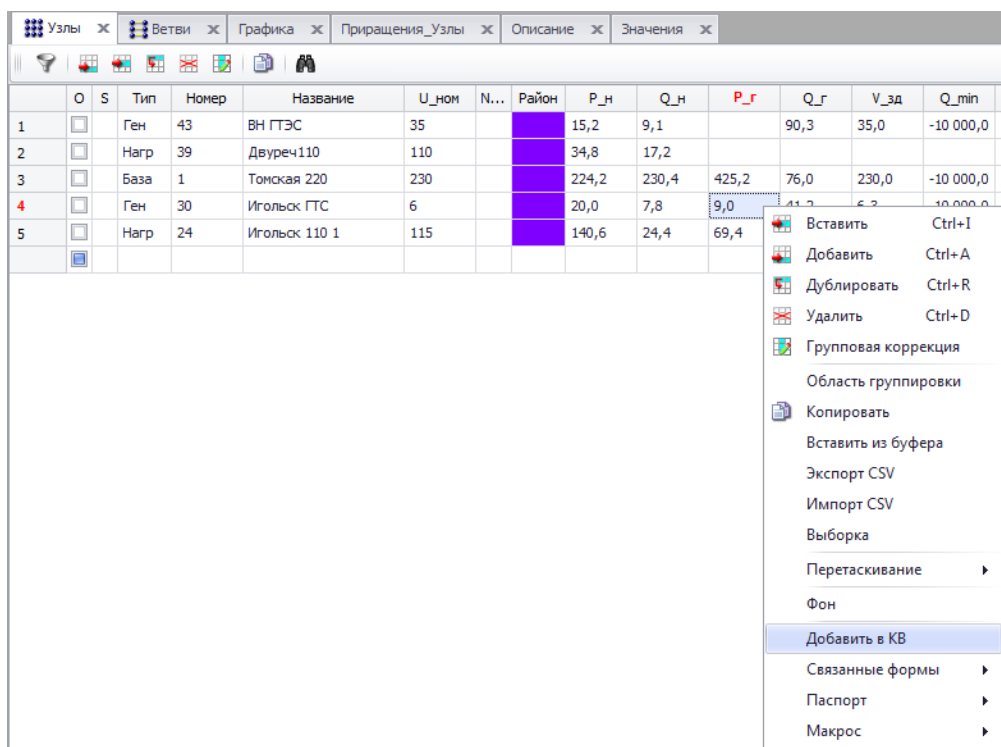
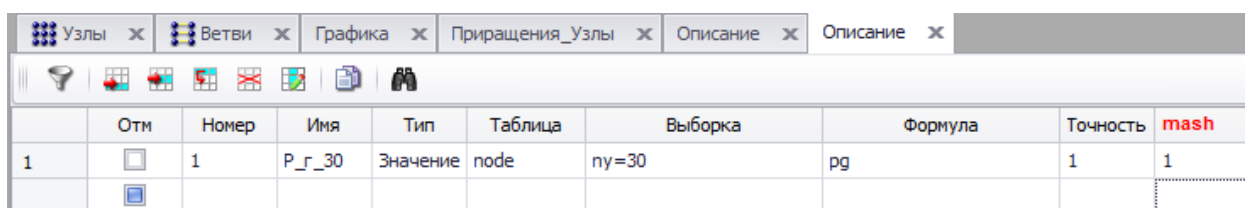


Рисунок 2.10 – Добавление контролируемого параметра в таблицу контролируемых величин

Далее необходимо открыть вкладку “Контролируемые величины - Описание”. В ней появится добавленный контролируемый параметр (Рис 2.11)




	Отм	Номер	Имя	Тип	Таблица	Выборка	Формула	Точность	mash
1	<input type="checkbox"/>	1	P_г_30	Значение	node	ny=30	pg	1	1

Рисунок 2.11 – Таблица “Описание”

После этого необходимо отметить эту контролируемую величину (поставить галочку в столбце “Отм”) и нажать клавишу F8. Появится вкладка “Значения”, в которую добавится отмеченный контролируемый параметр.

### 2.5.11 Запись результатов утяжеления

После подготовки всех исходных данных значком  производится утяжеление режима. Вновь откроется вкладка “Значения”, в которой отображаются значения контролируемой величины в соответствии с шагом утяжеления (Рисунок 9).

	Номер	Название	P_г_30
1		инициализация	9,0
2	1	Шаг [1]-[ 1.0000]	19,0
3	2	Шаг [2]-[ 2.0000]	29,0
4	3	Шаг [3]-[ 3.0000]	39,0
5	4	Шаг [4]-[ 4.0000]	49,0
6	5	Шаг [5]-[ 5.0000]	59,0
7	6	Шаг [6]-[ 6.0000]	69,0
8	7	Шаг [7]-[ 7.0000]	79,0
9	8	Шаг [8]-[ 8.0000]	89,0
10	9	Шаг [9]-[ 9.0000]	99,0
11	10	Шаг [10]-[ 10.0000]	109,0
12	11	Шаг [11]-[ 11.0000]	119,0
13	12	Шаг [12]-[ 12.0000]	129,0
14	13	Шаг [13]-[ 13.0000]	139,0
15	14	Шаг [14]-[ 14.0000]	149,0
16	15	Шаг [15]-[ 15.0000]	159,0
17	16	Шаг [16]-[ 16.0000]	169,0
18	17	Шаг [17]-[ 17.0000]	179,0
19	18	Шаг [18]-[ 18.0000]	189,0
20	19	Шаг [19]-[ 19.0000]	199,0
21	20	Шаг [20]-[ 20.0000]	209,0
22	21	Шаг [21]-[ 21.0000]	219,0
23	22	Шаг [22]-[ 21.6250]	225,2

Рисунок 2.12 – Результаты утяжеления

Среди представленных значений контролируемой величины значение представляет только последнее. Для данного первого этапа утяжеления это значение  $P_{г\_30}=225,2$  МВт. Его необходимо записать в таблицу следующего вида:

Таблица 2.1 – Результаты утяжеления первого этапа

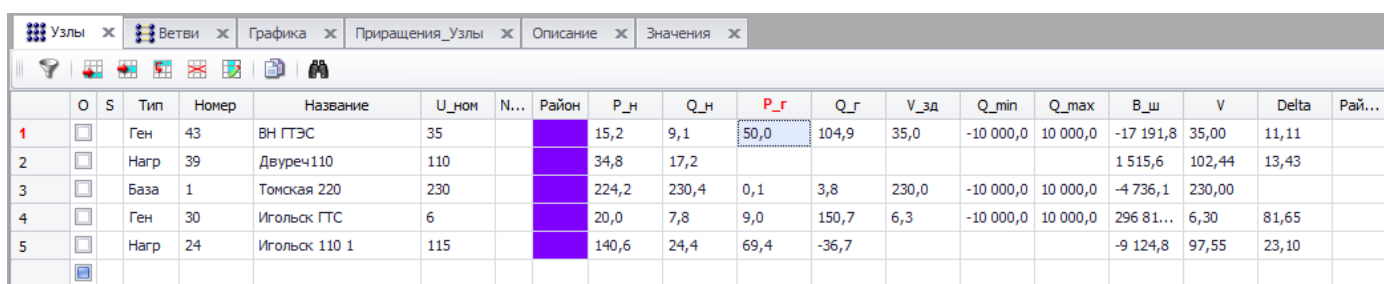
P_г_43	P_г_30
0	225,2
50	-
100	-
150	-
200	-



## 2.5.12 Подготовка схемы установившегося режима к дальнейшему этапу утяжеления

Как видно из представленной выше таблицы, утяжеление генератора в узле 30 необходимо производить для различных значений  $P_{г\_43}$ .

Для того, чтобы вновь инициализировать утяжеление необходимо в таблице “Узлы” зафиксировать мощность генератора 43 уже на уровень 50 МВт, а мощность утяжеляемого узла 30 вернуть на уровень 9 МВт (Рис 2.13).



	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	B_ш	V	Delta	Рай...
1	<input type="checkbox"/>		Ген	43	ВН ГТЭС	35			15,2	9,1	50,0	104,9	35,0	-10 000,0	10 000,0	-17 191,8	35,00	11,11	
2	<input type="checkbox"/>		Нагр	39	Двуреч110	110			34,8	17,2						1 515,6	102,44	13,43	
3	<input type="checkbox"/>		База	1	Томская 220	230			224,2	230,4	0,1	3,8	230,0	-10 000,0	10 000,0	-4 736,1	230,00		
4	<input type="checkbox"/>		Ген	30	Игольск ГТС	6			20,0	7,8	9,0	150,7	6,3	-10 000,0	10 000,0	296 81...	6,30	81,65	
5	<input type="checkbox"/>		Нагр	24	Игольск 110 1	115			140,6	24,4	69,4	-36,7				-9 124,8	97,55	23,10	

Рисунок 2.13 – Подготовка исходной схемы для следующего шага утяжеления

Далее необходимо снова произвести утяжеление и записать предельное значение  $P_{г\_30}$  в таблицу.

## 2.5.13 Этапы утяжеления

Выше был рассмотрен первый этап утяжеления. Второй этап полностью повторяет первый, с той лишь разницей, что утяжеление будет производиться в другую сторону, то есть во вкладке “Приращения\_Узлы” для узла 30 необходимо задать шаг утяжеления уже -10 МВт.

На третьем этапе узлы 30 и 43 меняются местами. Мощность генерации узла 30 будет меняться от 0 до 200 МВт с шагом 50 МВт, а эквивалентный генератор узла 43 будет утяжеляться с шагом 10 МВт для каждого значения  $P_{г\_30}$ . При этом контролируемым параметром будет  $P_{г\_43}$ . Таблица результатов будет выглядеть следующим образом:

Таблица 2.2 – Результаты утяжеления второго этапа

$P_{г\_43}$	$P_{г\_30}$
250,2	0
-	50
-	100
-	150
-	200

Четвертый этап утяжеления полностью повторяет третий, с той лишь разницей, что утяжеление будет производиться в другую сторону, то есть во вкладке “Приращения\_Узлы” для узла 43 необходимо задать шаг утяжеления уже -10 МВт.

Результаты всех четырех этапов сводятся в таблицу:

Таблица 2.3 – Результаты утяжеления всех этапов

Этап 1		Этап 3	
$P_{г\_}$	$P_{г\_}$	$P_{г\_4}$	$P_{г\_3}$
0	...	...	0
50	...	...	50
100	...	...	100
150	...	...	150
200	...	...	200
Этап 2		Этап 4	
0	...	...	0
50	...	...	50
100	...	...	100
150	...	...	150
200	...	...	200

### 2.5.14 Построение области допустимых режимов с учетом коэффициентов запаса по активной мощности

После этого строится область допустимых режимов по активной мощности. По оси абсцисс откладываются значения  $P_{\Gamma 43}$ , по оси ординат значения  $P_{\Gamma 30}$  (Рис. 2.13).

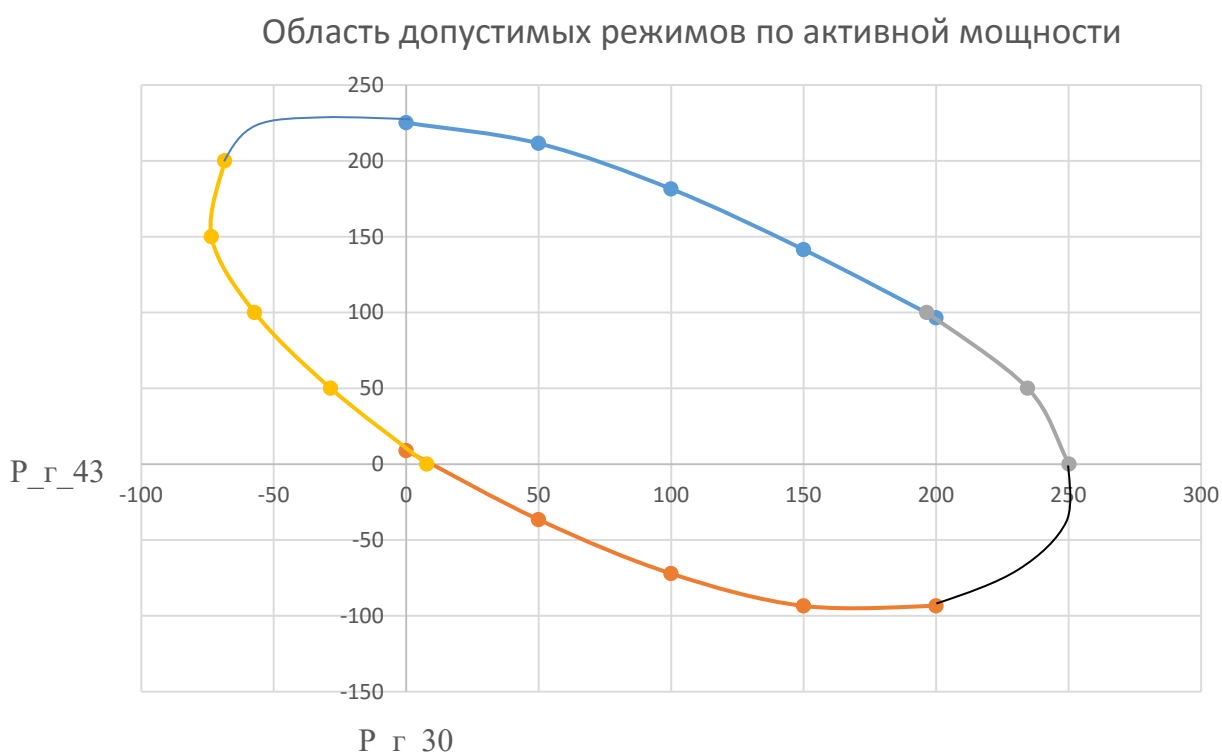


Рисунок 2.13 – Область допустимых режимов по активной мощности

Кривые, полученные на рисунке 10 являются **предельными** границами работы энергосистемы. На практике, **область допустимых режимов** рассчитывают с учетом коэффициентов запаса по активной мощности.

В соответствии с формулами 2.9 - 2.14 построим область допустимых режимов с учетом коэффициентов запаса по активной мощности:

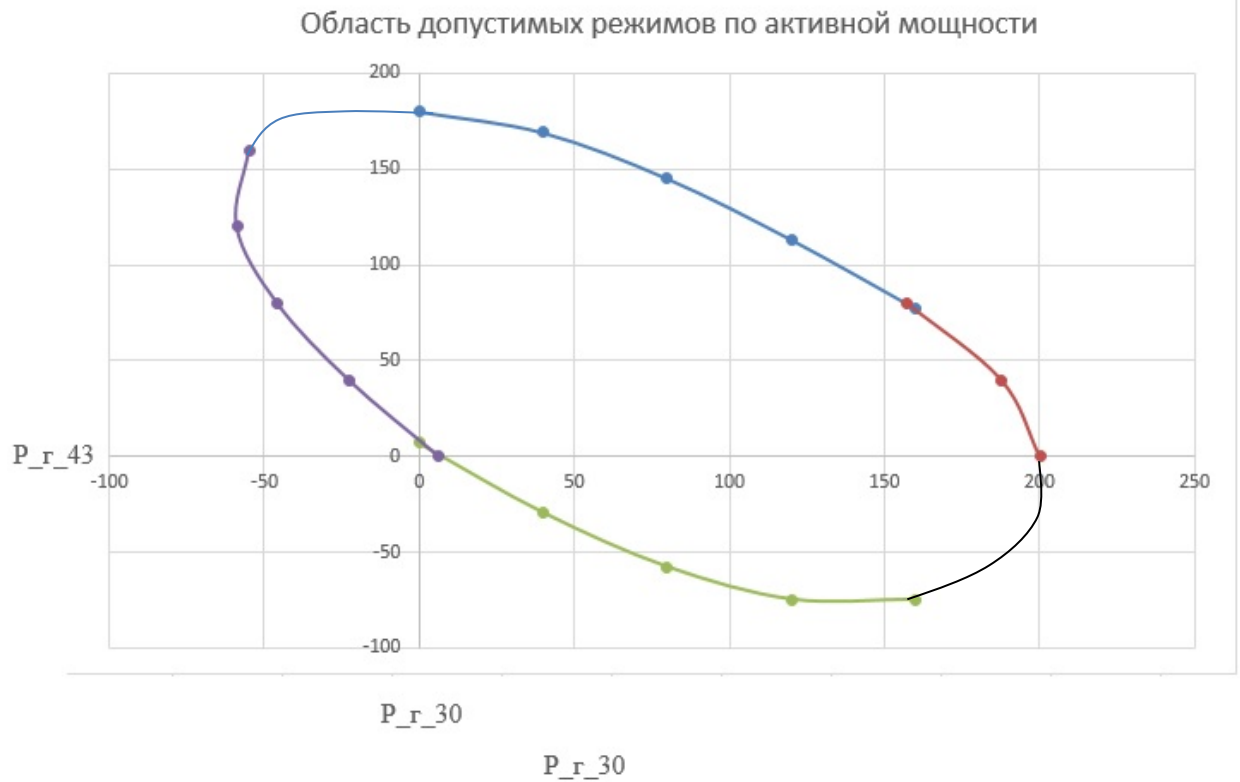


Рисунок 2.14 – Область допустимых режимов с учетом коэффициентов запаса по активной мощности

### 2.5.15 Выводы:

**Студенты формулируют выводы о проделанной работе.**

### 2.5.16 Ход работы:

1. Загрузить исходный файл энергосистемы в ПК RastrWin.
2. Сформировать графическую схему рассматриваемой энергосистемы (Рис. 2.2).
3. Отметить необходимые для эквивалентирования узлы (Рис. 2.3).

4. Произвести настройки эквивалентирования (Рис. 2.4) и выполнить его (Рис. 2.5).
5. Подготовить полученную схему к первому этапу утяжеления (Рис. 2.6).
6. Задать траекторию утяжеления, контролируемые параметры и произвести утяжеление (Рис.2.7 – Рис. 2.12).
7. Полученные результаты свести в таблицу (Табл. 2.1).
8. Подготовить схему установившегося режима к следующему этапу утяжеления (Рис. 2.13).
9. Произвести последовательно все четыре этапа утяжеления и свести все результаты в таблицу (Табл. 2.3).
10. Область допустимых режимов по активной мощности (Рис. 2.13 – 2.14).
11. Сделать выводы по проделанной работе.
12. Ответить на контрольные вопросы.

## **2.6 Лабораторная работа №3**

### **Определение динамической устойчивости многомашинной энергосистемы**

#### **2.6.1 Цель работы**

Овладеть практическими навыками оценки динамической устойчивости энергосистемы.

#### **2.6.2 Введение**

Динамической устойчивостью энергосистемы называется ее способность восстанавливать исходное состояние после значительных возмущений

без перехода в асинхронный режим. Под значительным понимается такое нарушение режима, при котором изменения параметров режима соизмеримы со значениями этих параметров. Под асинхронным режимом понимается режим, характеризующийся несинхронным вращением части генераторов энергосистемы. Такие режимы работы энергосистемы недопустимы, так как они негативно влияют на устойчивость синхронных машин, следствием нарушения которой является ухудшение качества электроэнергии, а также прекращение электроснабжения потребителей.

Поэтому важной задачей является оценка динамической устойчивости энергосистем, то есть оценка вероятности перехода синхронных машин в асинхронный режим.

В данных методических указаниях приведен алгоритм определения анализа динамической устойчивости энергосистемы в соответствии с «Методическими указаниями по устойчивости энергосистем» в программном комплексе (ПК) Mustang.

### **2.6.3 Выполнение лабораторной работы в ПК Mustang**

#### **2.6.4 Исходные данные**

В качестве расчетной модели используется уже рассмотренная в лабораторной работе по оценке статической устойчивости Томская энергосистема на участке ПС Томская – ПС Парабель – ПС Советско-Соснинская – ПС Лугинецкая – ПС Двуреченская – ПС Игольская (рис. 2.1), которая выдается в формате \*.ssp файла режима ПК Mustang .

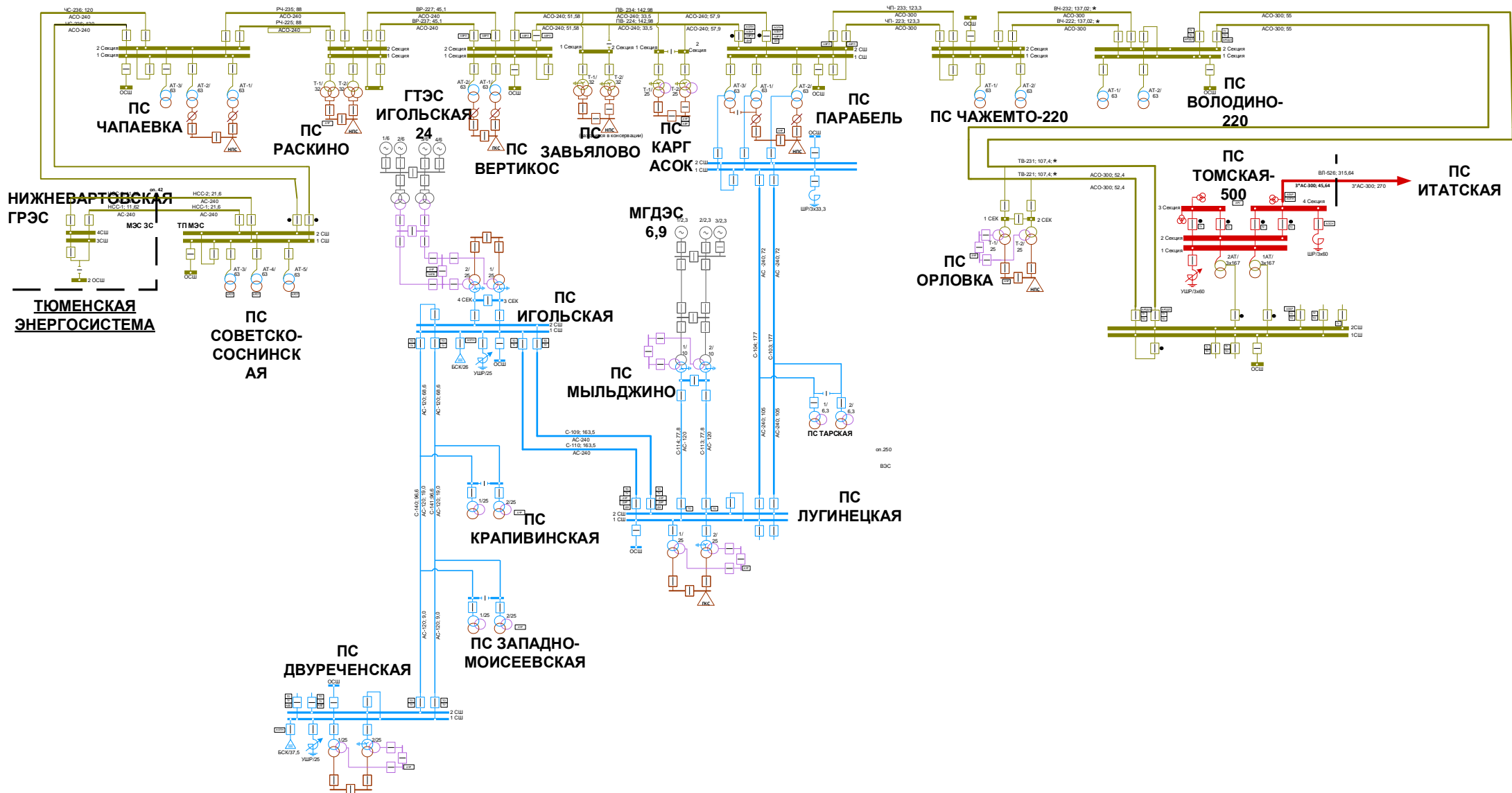


Рисунок 2.1 - Исследуемая энергосистема

Перед началом работы в ПК Mustang рекомендуется выполнить команды Главное меню → УР → Новая схема и Главное меню → Дин.-данные → Новые данные.

Далее необходимо загрузить файл установившегося режима \*.ssp. Для этого необходимо выполнить команду Главное меню → Файлы → Читать УР и выбрать нужный файл. Расчет режима производится командой Главное меню → УР → Расчет.

Для задания динамических характеристик генераторов необходимо перейти во вкладку Дин.-данные → Генераторы РС, РВ, ..., СД (рис. 2.2)

Во вкладке находятся таблицы «Генераторы, Регуляторы скорости, Регуляторы возбуждения, Возбудители».

Название	N	Блок	Uгном	Ргном	COS(φ)	D	Mj/Tj
	44		6.30	2	0.800		14.66
	1		230.00				
	45		6.30	2	0.800		14.66
	46		6.30	6	0.800		14.66
	47		6.30	6	0.800		14.66
	48		6.30	6	0.800		14.66
	175		6.30	6	0.800		14.66
НВартГРЭС	76		230.00				
Томская 220-	101		230.00				

Рисунок 2.2 – Таблица Генераторы.

В эти таблицы необходимо внести данные о генераторах, приведенные в таблицах 1-4.



Таблица 1 - Генераторы

Название	U <sub>гном</sub>	P <sub>гном</sub>	COS(φ)	D	M <sub>j</sub> /T <sub>j</sub>	X'd	X <sub>d</sub>	X <sub>q</sub>	X''d	X''q	T'd0	T''d0	T''q0
Генератор	6.3	2	0.800	0.00	14.66	0.171	1.651	1.651	0.121	0.121	0.950	0.086	0.086
Баз. узел	230.00	0	0.000	0.00	0.00	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Таблица 2 – Регуляторы скорости

Название	Статизм	Зона	Tоткр	Tзакр	P <sub>tmin</sub>	P <sub>tmax</sub>	D <sub>по</sub>	T <sub>по</sub>
Генератор	5.00	0.50	1.500	0.500	0.00	110.00	0.00	1.500

Таблица 3 – Регуляторы возбуждения

Название	T <sub>рв</sub>	U <sub>рв+</sub>	U <sub>рв-</sub>	K <sub>u</sub>	K'u	K'if	K <sub>f</sub>	K'f	T <sub>f</sub>
Генератор	0.040	7.000	-6.000	50.000	5.000	5.000	2.000	5.000	0.900

Таблица 4 – Возбудители

Название	N <sub>ф</sub>	N <sub>сист</sub>	T <sub>в</sub>	E <sub>qe+</sub>	E <sub>qe-</sub>	E <sub>q+</sub>	E <sub>q-</sub>
Генератор	0	0	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000

### 2.6.5 Автоматика

Для моделирования возмущающих воздействий в ПК Mustang используется подпрограмма «Автоматика». Процесс задания возмущающего воздействия будет рассмотрен на примере отключения сетевого элемента основными защитами при однофазном КЗ на 1 СШ 220 кВ ПС Парабель с успешным действием АПВ (рис. 2.3).

Стандартные   АДАР   Программируемые										
Пояснение	N	Логика	Фактор	Ni	Nj	Nп	Уставка	T1		
			T2	Действие	Ni	Nj	Nп	Парам1	Парам2	
1кз	1			Время				1.000		
осн защ	1			Шунт	9				30.000	
успешн	1		0.160	Отключить связь	7	9				
АПВ	1		0.160	Шунт	9				-30.000	
	1		4.240	Включить связь	7	9				
	1		20.000	Стоп						
	2			Время				1.000		
1кз	2			Шунт	9				30.000	
осн защ	2		0.160	Отключить связь	7	9				
не усп	2		0.160	Шунт	9				-30.000	
АПВ	2		4.240	Шунт	9				30.000	
	2		4.240	Включить связь	7	9				
	2		4.400	Отключить связь	7	9				
	2		4.400	Шунт	9				-30.000	
	2		60.000	Стоп						

Рисунок 2.3 - Автоматика

Подпрограмма «Автоматика» находится во вкладке «Дин.-данные» и включает в себя следующие столбцы:

N – номер автоматика. Каждая автоматика состоит из нескольких строк, каждой из которых необходимо присваивать общий номер (рис. 2.3). Номер автоматика позволяет программе отличать одну автоматику от другой, а также производить включение/выключение всех строк какой-либо автоматика. Для этого необходимо привести курсор на любую строку нужной автоматика и нажать сочетание клавиш Ctrl+L. На рисунке 2.3 видно, что автоматика 1 в данный момент активна, а автоматика 2 – неактивна.

Фактор/Действие – задание определенного фактора/действия автоматика (расчет режима в течение определенного времени, изменения параметров схемы замещения и т.п.).

Ni, Nj – номера узлов в схеме.

Nп – номер параллельности ветвей в схеме.

Парам 1, Парам 2, – некоторые параметры, имеющие различный смысл в зависимости от конкретного фактора/действия. В данной лабораторной работе используется Парам 1, который задает определенное время в секундах, а также Парам 2, который отвечает за величину накладываемого на узел шун-

та. В данной работе однофазное КЗ задается шунтом в 30 Ом, трехфазное – 0,001 Ом.

Остальные столбцы в данной работе не используются, их значение можно найти в справке (файл M2000, находящийся в папке MUSTANG.WIN/HELP).

Поясним логику ввода рассмотренной на рисунке 2.3 автоматики. По заданию, возмущающим воздействием является отключение сетевого элемента основными защитами при однофазном КЗ на 1 СШ 220 кВ ПС Парabelle с успешным действием АПВ.

При открытии вкладки «Автоматика» необходимо во вкладке «Стандартные» (Главное меню → Дин.данные → Автоматика → Стандартные) нажать клавишу «Insert», при помощи которой в таблицу добавляются новые строки. Откроется меню «Факторы/Действия» (рис. 2.4), которое разделено на вкладки «Факторы» и «Действия» соответственно.

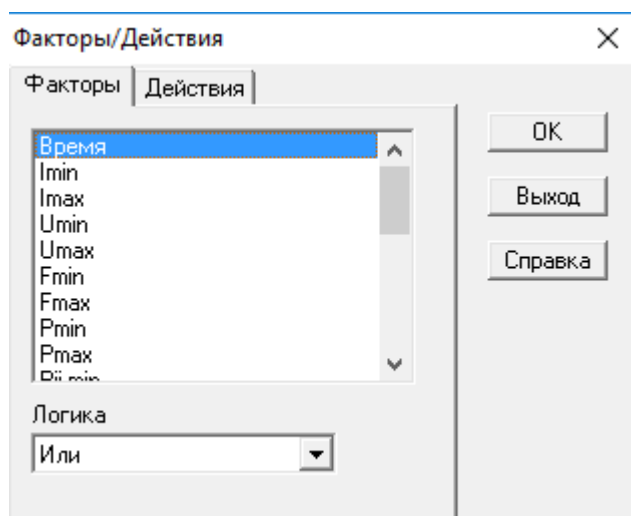


Рисунок 2.4 – Факторы/действия.

Для начала необходимо во вкладке «Факторы» выбрать фактор «Время и нажать «ОК».

Появится новая строка «Время». Этой строке необходимо присвоить номер автоматики 1 и параметр Парам 1, равный 1.000 (в данном случае это время, с). Введенная строка означает, что режим будет рассчитываться в течение одной секунды, после чего сработает следующая строка.

Для ввода следующей строки необходимо также нажать клавишу «Insert» и выбрать Действие → Шунт. По заданию (табл. 6), короткое замыкание происходит на шинах 220 кВ первой секции шин ПС Парабель, которые являются узлом №9. Соответственно необходимо в столбце Ni указать номер 9, а в столбце Парам 2 указать 30.000. Это будет означать, что после одной секунды расчета установившегося режима на узел 9 будет наложен шунт, реактивностью 30 Ом.

Далее, по заданию, срабатывает основная защита (линейный выключатель 220 кВ), время действия которой 0,16 сек. Чтобы смоделировать действие этой защиты необходимо добавить строку Действие → Отключить связь. Как показано на рисунке 2.3, отключение связи 7-9 происходит через 0,16 секунды после наложения шунта. Успешное действие основной защиты моделируется снятием шунта (Действие → Шунт) с девятого узла одновременно с действием основного комплекта защит (0,16 сек). Снятие шунта задается уменьшением сопротивления шунта на 30 Ом (-30.000).

Работа ТАПВ моделируется включением отключенной связи 7-9. Следует помнить, что ТАПВ отстраивается от действия основного комплекта защит, а также учитывается время срабатывания выключателя (0,08 сек). Таким образом, ТАПВ сработает через  $T_{рз} + T_{ТАПВ} + T_{выкл} = 0,016 + 4 + 0,08 = 4,24$  секунды после момента появления шунта.

Процесс моделирования автоматики необходимо завершить, для этого добавляется строка с действием «СТОП» с уставкой T2 равной 20 секунд.

По данному принципу задаются все возмущающие воздействия, приведенные в таблице 5.

Для сохранения набора автоматики необходимо выполнить команду Файлы → Сохранить автоматику.

## 2.6.6 Контролируемые параметры

Контролируемыми параметрами называются режимные параметры, расчет которых проводился программой. Контролируемые параметры задаются перед расчетом переходных процессов в таблице Дин. – данные → Кон. Параметры (рис. 2.5).

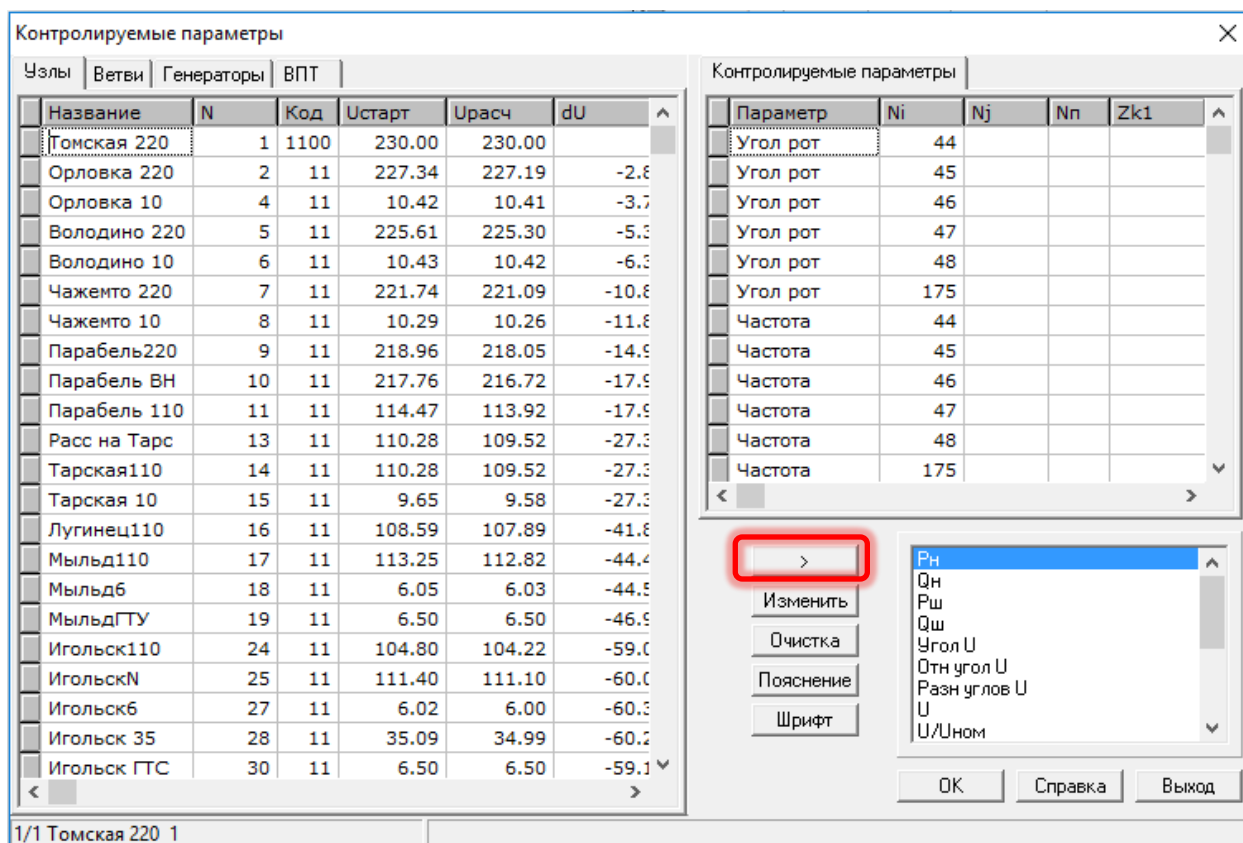


Рисунок 2.5 – Контролируемые параметры

Контролируемыми параметрами в данной работе являются углы роторов, частоты и электромагнитные мощности генераторов в узлах 44, 45, 46, 47, 48, 175.

Для добавления контролируемого параметра необходимо навести курсор на нужный узел в таблице Дин.-данные → Кон. Параметры → Узлы/Генераторы, выбрать нужный параметр в таблице справа внизу и добавить кнопкой “>”. Добавленный параметр появится в таблице «Контролируемые параметры» справа сверху. После добавления всех параметров в табли-

цу их необходимо сохранить командой **Файлы → Сохранить контролируемые параметры**.

### 2.6.7 Вывод результатов расчета

Перед выполнением расчета необходимо перейти во вкладку **Дин.-данные → Управляющая информация → Управляющие константы** и выставить параметры, показанные на рисунке 2.6.

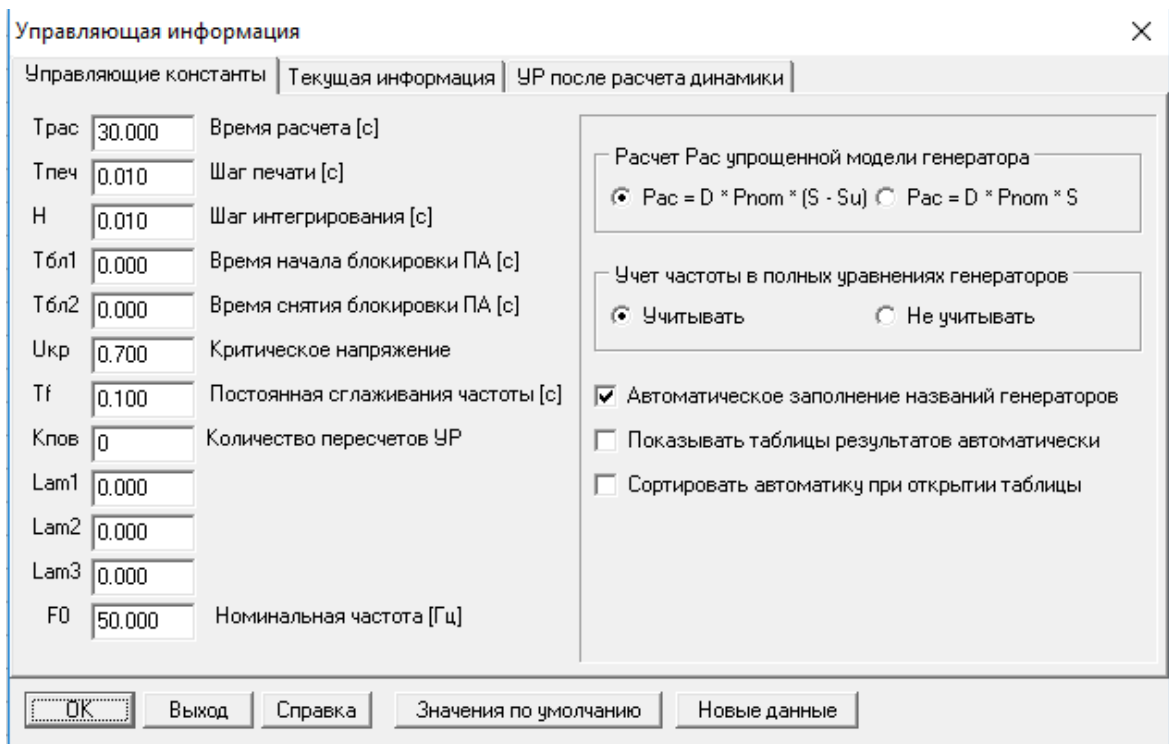


Рисунок 2.6 – Управляющие константы

При этом время расчета **Трас** должно быть не меньше времени **T2**, указанному в таблице автоматики для действия «СТОП».

Далее можно перейти непосредственно к расчету переходного процесса. Для этого необходимо выполнить команду **Дин. – результаты → Расчет** и нажать в появившемся окне кнопку «ОК».

Появится окно протокола программы расчета динамики, в котором необходимо перейти во вкладку **Контролируемые параметры**. В этой вкладке представлена таблица расчета контролируемых параметров с заданным ша-

гом по времени. Для визуализации данных необходимо в любом месте таблицы нажать правую клавишу мыши и в выпадающем меню выбрать строку Графики. Появится окно Установки графиков, представленное на рисунке 7.

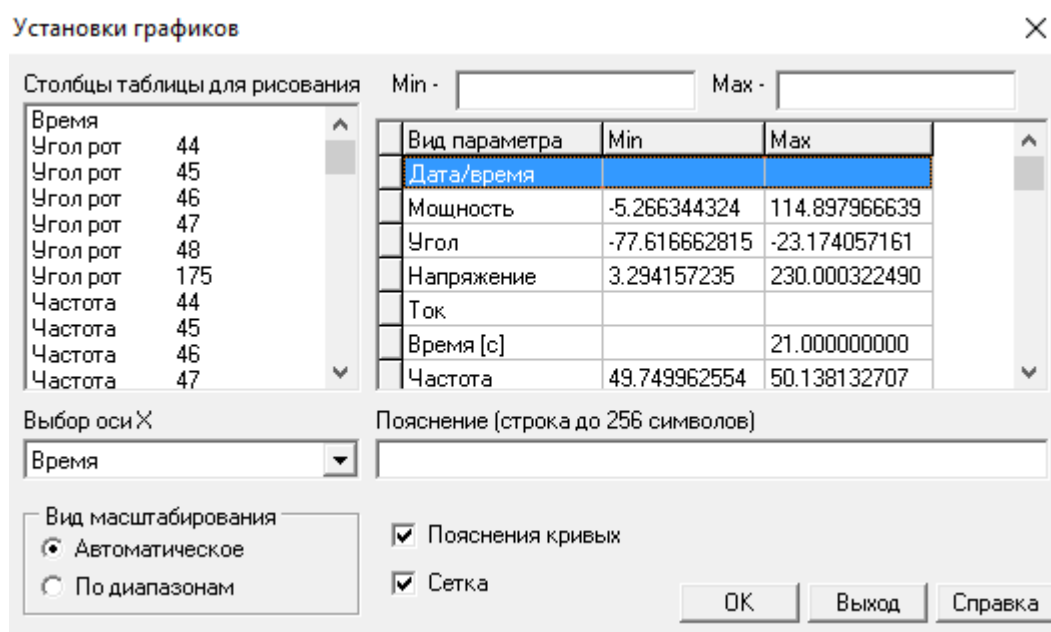


Рисунок 2.7 – Установки графиков

При расчете каждого возмущающего воздействия необходимо представить три группы графиков – графики зависимости изменения угла ротора генераторов от времени, график зависимости изменения частоты генераторов от времени и график изменения электромагнитной мощности генераторов от времени. Для визуализации одной группы графиков, например, частоты генераторов, необходимо с зажатой клавишей «Shift» выбрать необходимые столбцы таблицы для рисования и нажать кнопку «ОК».

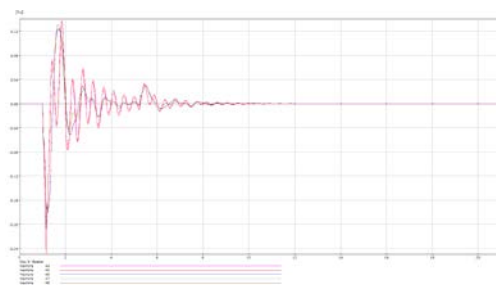


Рисунок 8 – Пример построения группы кривых изменения частоты генераторов во времени.

## 2.6.8 Алгоритм выполнения работы

1. Загрузить исходный файл исследуемой энергосистемы в ПК Mustang.
2. В соответствии с вариантом по таблице 6 определить подстанцию, вблизи которой будут моделироваться возмущающие воздействия.
3. Ввести исходные данные в таблицы Генераторы (табл. 1-4) (рис. 2.2), Контролируемые параметры (рис. 2.5).
4. Составить таблицу описания действий автоматики (рис. 2.3).
5. Последовательно провести моделирование возмущающих воздействий, регламентированных "Методическими указаниями по устойчивости энергосистем" (таблица 5) и сохранить полученные графики (графики зависимости изменения угла ротора генераторов от времени, графики зависимости изменения частоты генераторов от времени и графики изменения электромагнитной мощности генераторов от времени).
6. Дать описание электромеханических процессов, происходящих во время смоделированных возмущений, сделать выводы об устойчивости энергосистемы.
7. Сделать выводы о проделанной работе.
8. Ответить на контрольные вопросы.



Таблица 5 – Нормативные возмущения

<i>КЗ на сетевом элементе, кроме системы (секции) шин:</i>	
Отключение сетевого элемента основными защитами при однофазном КЗ с успешным АПВ (для сетей 330 кВ и выше – ОАПВ, 110–220 кВ – ТАПВ)	
То же, но с неуспешным АПВ	
Отключение сетевого элемента основными защитами при трехфазном КЗ с успешным и неуспешным АПВ	
Отключение сетевого элемента резервными защитами при однофазном КЗ с успешным и неуспешным АПВ	
Отключение сетевого элемента основными защитами при двухфазном КЗ на землю с неуспешным АПВ	
Отключение сетевого элемента действием УРОВ при однофазном КЗ с отказом одного выключателя	
То же, но при трехфазном КЗ	
<i>КЗ на системе (секции) шин:</i>	
Отключение СШ с однофазным КЗ, не связанное с разрывом связей между узлами сети	

Таблица 6 – Варианты исходных данных

Номер варианта	Место КЗ	Время срабатывания защит, с		T <sub>УРОВ</sub> , с	T <sub>АПВ</sub> , с
		Основной	Резервной		
1	1 цепь ВЛ 220 кВ ПС Орловка – ПС Володино у шин 220 кВ ПС Орловка	0,15	0,8	0,45	3,7
2	1 цепь ВЛ 220 кВ ПС Володино – ПС Чажемто у шин 220 кВ ПС Володино	0,14	0,8	0,46	3,8
3	1 цепь ВЛ 220 кВ ПС ПарABELь – ПС Каргасок у шин 220 кВ ПС ПарABELь	0,13	0,8	0,47	3,9
4	1 цепь ВЛ 220 кВ ПС Завьялово – ПС Вертикос у шин 220 кВ ПС Вертикос	0,12	0,8	0,48	4,0
5	1 цепь ВЛ 220 кВ ПС Чапaeвкa – ПС Раскино у шин 220 кВ ПС Чапaeвкa	0,15	0,8	0,49	4,0
6	1 цепь ВЛ 110 кВ ПС ПарABELь – ПС Лугинецкая у шин 110 кВ ПС Лугинецкая	0,14	0,8	0,50	3,1
7	1 цепь ВЛ 110 кВ ПС Игольская – ПС Крапивинская у шин 110 кВ ПС Крапивинская	0,13	0,8	0,44	3,3
8	1 цепь ВЛ 110 кВ ПС Крапивинская – ПС Западно-Моисеевская у шин 110 кВ ПС Западно-Моисеевская	0,12	0,8	0,53	3,3
9	1 цепь ВЛ 220 кВ ПС Чажемто – ПС ПарABELь у шин 220 кВ ПС Чажемто	0,15	0,8	0,50	3,2
10	1 цепь ВЛ 110 кВ ПС Западно-Моисеевская – ПС Двуреченская у шин 220 кВ ПС Двуреченская	0,14	0,8	0,47	3,0

## 2.7 Выводы по главе 2

В данной главе было рассмотрено текущее программное и методическое обеспечение лабораторного практикума по дисциплине “Методы расчета устойчивости энергосистем” и сделаны выводы о необходимости его дальнейшего развития и совершенствования. Далее были разработаны следующие лабораторные работы и тестовые примеры к ним :

1. Лабораторная работа “Построение предельных и допустимых по статической устойчивости областей режимов работы энергосистем” и лабораторной работы

2. Лабораторная работа “Определение динамической устойчивости многомашинной энергосистемы”.

В данных лабораторных работах были рассмотрены вопросы практического определения динамической устойчивости энергосистемы с использованием ПК Mustang, а также вопросы построения области допустимых по статической апериодической устойчивости режимов работы энергосистемы с использованием ПК RastrWin. Данные программные комплексы были выбраны как инструментарий для выполнения разработанных лабораторных работ в силу того, что они отвечают необходимым требованиям простоты, удобства, наглядности при работе с ними, при этом являясь специализированными для данных задач комплексами, используемыми в проектных организациях для решения реальных электроэнергетических задач.

Методические указания существующих лабораторных работ представлены в приложениях Б, В, тестовые примеры к разработанным лабораторным работам представлены в приложениях Г, Д.

## **Глава 3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **3.1 Актуальность**

В рамках данной ВКР был разработан электронный курс по дисциплине “Методы расчета устойчивости энергосистем”, а также лабораторно-методическое обеспечение для него.

В данном учебном курсе рассматриваются математические практические аспекты расчётов и критериев устойчивости электроэнергетических систем.

В разработанном лабораторно-методическом обеспечении более подробно рассмотрены вопросы практического расчета статической устойчивости энергосистем (“устойчивости в малом”), а также оценки динамической устойчивости энергосистемы.

Выполнение лабораторных работ включает в себя, в том числе, и использование специализированных программных средств, применяемых для расчетов установившихся и переходных режимов энергосистем.

### **3.2 Задачи исследования:**

В настоящем исследовании решены следующие задачи:

1. Проведён анализ задачи исследования устойчивости энергосистем. Анализ литературы по устойчивости энергосистем.
2. Проведён анализ существующих систем управления электронными курсами (LMS) и выбор подходящей системы.
3. Разработаны элементы электронного курса “Методы расчета устойчивости энергосистем”.

4. Создана лабораторная работа “Построение предельных и допустимых по статической устойчивости областей режимов работы энергосистем” и тестового примера выполнения лабораторной работы;

5. Создана лабораторная работа “Определение динамической устойчивости многомашинной энергосистемы” и тестового примера выполнения лабораторной работы;

### 3.3 Организационная структура исследования

В рамках данного проекта был создан электронный курс “Методы расчета устойчивости энергосистем” а также лабораторно-методическое обеспечение данной дисциплины в виде двух лабораторных работ и тестовых примеров к ним. Все работы выполнялись руководителем проекта-руководителем магистерской диссертации и исполнителем проекта-собственно, магистрантом. Рабочая группа проекта (табл.3.1) состоит из: двух непосредственных исполнителей; магистранта, который создает отдельные части электронного курса и лабораторные работы, обладает специальными знаниями и опытом; и руководителя проекта, к его основным функциям можно отнести координацию деятельности магистранта и оценка готовности проекта.

Таблица 3.1 – Рабочая группа

Роль в проекте	Разряд оплаты труда	Тарифный коэффициент	Районный коэффициент	Минимальный мес. оклад, руб.	Заработная плата, руб.
Руководитель	15	3,62	1,3	4440	20895
Магистрант	-	-	-	-	-
И <sub>зп</sub>					20895

### 3.4 Планирование исследования

Планирование проекта является неотъемлемой частью работы. Правильное планирование всех этапов от разработки проекта до конечного продукта, позволяет более точно и рационально использовать денежные средства и необходимые трудовые ресурсы. План работ сведен в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – План работ по проекту

№ этапа	Выполняемая работа	Длительность (день)	Состав участников	Продолжительность работ			Т, чел./день
				t <sub>MIN</sub>	t <sub>MAX</sub>	t <sub>ож</sub>	
1	Разработка технического задания	1	Руководитель	1	1	1	2
2	Анализ задачи исследования устойчивости энергосистем	1	Магистрант	1	2	1	2
3	Анализ существующих систем управления курсом	2	Магистрант	2	3	2	2
4	Выбор системы управления курсом	3	Магистрант	3	4	3	3
5	Разработка методических указаний к лабораторной работе №2	3	Магистрант	3	5	4	2
6	Разработка тестового примера лабораторной работы	1	Магистрант	1	2	1	2
7	Анализ результатов	2	Магистрант	2	3	2	3
8	Разработка методических указаний к лабораторной работе №3	5	Магистрант	3	5	4	2
9	Разработка тестового примера лабораторной работы	3	Магистрант	1	2	1	2
10	Анализ результатов	2	Магистрант	2	3	2	3
11	Оформление графической части	3	Магистрант	3	4	3	2
12	Оформление лабораторных методических указаний в соответствии со стандартами СО ТПУ	1	Магистрант	1	2	1	3
13	Оформление проекта (ВКР) в соответствии со стандартами СО ТПУ	3	Магистрант	3	4	3	2
14	Принятие лабораторного практикума руководителем	2	Руководитель	2	3	2	2
			Магистрант				

Целью первого этапа явилась разработка технического задания. Далее был проведен обзор и анализ литературы. Данный этап был направлен на формирование информационной базы проекта.

На следующем этапе был сделан выбор системы управления курсом, а также создан непосредственно сам электронный курс «Методы расчета устойчивости энергосистем».

Далее был выполнен выбор инструментальных средств выполнения проектируемых лабораторных работ, разработаны методические указания и созданы тестовые примеры выполнения двух лабораторных работ. А также проанализированы результаты и внесены соответствующие коррективы.

Готовый проект был представлен руководителю для оценки результатов произведенной работы.

Время, необходимое для разработки электронного курса по дисциплине «Методы расчета устойчивости энергосистем», составляет около 32 рабочих дней (рис.3.1). Однако при этом не учитываются выходные и праздничные дни. Для учета выходных и праздников переведем рабочие дни в календарные, для перевода воспользуемся формулой:

$$t_{\text{кал}} = \frac{t_{\text{раб}}}{K_{\text{пер}}} = \frac{32}{0,66} = 49 \text{ дней,}$$

$t_{\text{кал}}$  – общая продолжительность создания лабораторного практикума в календарных днях;

$t_{\text{раб}}$  – общая продолжительность создания лабораторного практикума в рабочих днях;

$K_{\text{пер}}$  – переводной коэффициент равный 0,66.

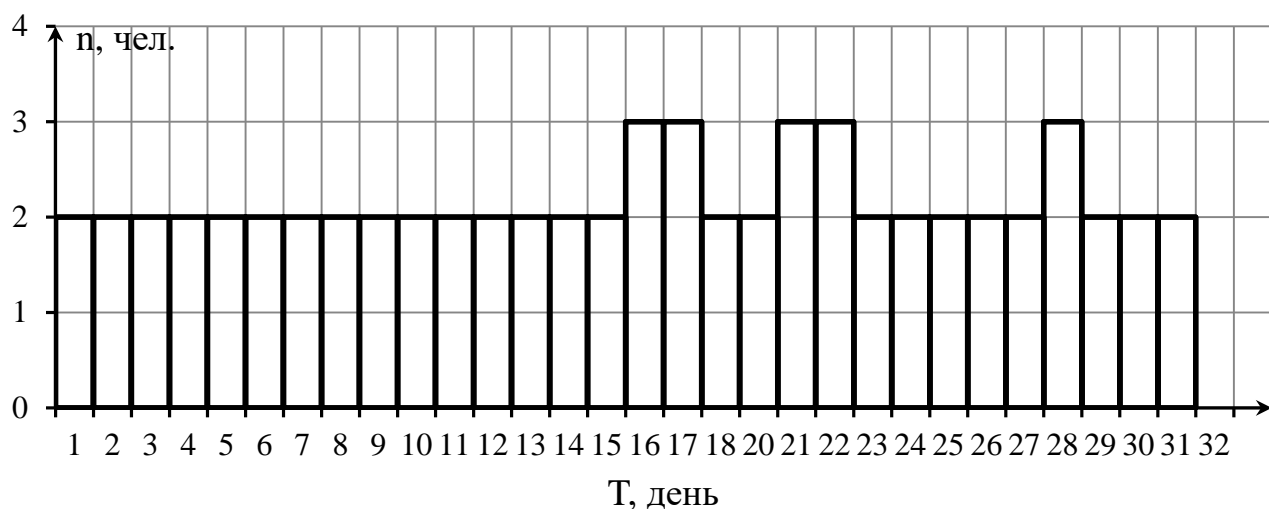


Рисунок 3.1 – График загрузки трудовых ресурсов

### 3.5 Смета затрат на исследование

В данном разделе произведем расчет сметы расходов, которая включает в себя затраты: на сырье, материалы, на заработную плату, на приобретение необходимого оборудования для разработки и на прочие расходы.

Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат.}} + I_{\text{ам.комп.т.}} + I_{\text{ЗП}} + I_{\text{соц.отч.}} + I_{\text{накл.расх.}} + I_{\text{прочие}}$$

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 - 5 % от цены). Результаты расчета сведем в табл. 3.3.

Таблица 3.3 – Сырье и материалы

Материалы и оборудование	Ед. изм.	Срок службы,	Кол-во материала, ед.	Цена за ед., руб.	Затраты, руб.
--------------------------	----------	--------------	-----------------------	-------------------	---------------

		год			
Компьютер	шт.	7	1	35500	35500
Принтер лазерный цветной	шт.	5	1	7800	7800
Сканер/копир	шт.	5	1	6000	6000
Бумага формата А4	лист	-	1000	0,2	200
Бумага формата А3	лист	-	10	0,35	35
Картридж ч/б	шт.	-	1	400	400
Картридж цветной	шт.	-	1	800	800
Всего:					86235
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)					2590
Итого по статье					53325

Рассчитываем материальные затраты ( $I_{\text{мат}}$ ).

$$I_{\text{мат}} = K_{\text{мат}} = 53325 \text{ руб.}$$

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году. Рассчитаем амортизацию компьютерной техники ( $I_{\text{ам.комп.техн}}$ ).

Для расчета амортизации оборудования воспользуемся следующей формулой:

$$I_{\text{ам.комп.т.}} = (T_{\text{исп.к.т.}} / 365) \cdot K_{\text{комп.т.}} \cdot N_a,$$

где  $T_{\text{исп.к.т.}}$  = 32 дней – время использования компьютерной техники;

$K_{\text{комп.т.}}$  – стоимость компьютерной техники;

$N_a$  – норма амортизации.

$$K_{\text{комп.т.}} = K_{\text{комп.}} + K_{\text{принтер}} + K_{\text{сканер}},$$

где  $K_{\text{комп}}$  – стоимость компьютера, руб.;

$K_{\text{принтера}}$  – стоимость принтера, руб.;

$K_{\text{сканера}}$  – стоимость сканера, руб.;

$$N_a = 1/T_{\text{сл.комп.т.}},$$



где  $T_{\text{сл.к.т.}}$  – срок службы компьютерной техники, год.

Результаты расчета сведем в табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	$K_{\text{комп.т}}$ руб.	$T_{\text{исп.к.т.}}$ дней.	$I_{\text{ам.комп.техн}}$ , руб.
Компьютер	35500	32	1639,5
Принтер лазерный цветной	7800	32	3468
Сканер	6000	32	2667,7
Итого:			7775,2

Расчет заработной платы – заработная плата рассчитывается в соответствии с занятостью исполнителей, с учетом районного и тарифного коэффициентов исполнителей (табл. 3.1).

В состав затрат на оплату труда включаются: выплаты заработной платы за фактически выполненную работу, выплаты стимулирующего характера по системным положениям, выплаты по районным коэффициентам, компенсации за неиспользованный отпуск, другие виды выплат.

Также необходимо определить дополнительные выплаты от несчастных случаев, которые определяются по формуле:

$$I_{\text{зп(доп)}} = 0,1 \cdot 20859 = 2085,9 \text{ руб.}$$

Тогда полный фонд заработной платы (ФЗП):

$$\text{ФЗП} = I_{\text{зп}} + I_{\text{зп(доп)}} = 20859 + 2085,9 = 22944,9 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды – страховые взносы в три внебюджетных фонда – Пенсионный фонд, Фонд социального страхования Российской Федерации и фонды обязательного медицинского страхования. Размер совокупных страховых взносов – 30%. Рассчитываем отчисления на социальные нужды ( $I_{\text{соц.отч.}}$ ):

$$I_{\text{соц.отч.}} = 0,30 \cdot \text{ФЗП} = 0,30 \cdot 22944,9 = 6883,47 \text{ руб.}$$

Накладные расходы включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования. Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и до-

полнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение проекта. Расчет накладных расходов ведется по ниже приведенной формуле:

$$I_{\text{накл.расх}} = k_{\text{накл}} \cdot \PhiЗП$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов.

$$I_{\text{накл.расх}} = 0,8 \cdot \PhiЗП = 0,8 \cdot 75365,4 = 18355,92 \text{ руб.}$$

Прочие затраты – затраты, к которым относятся налоги, сборы, отчисления в специальные внебюджетные фонды, платежи по обязательному страхованию имущества, вознаграждения за изобретение и рационализаторские предложения, за подготовку кадров, оплата услуг связи и т.д. Эти затраты составляют 2% от всех издержек и вычисляются по формуле:

$$I_{\text{прочие}} = 0,02 \cdot (I_{\text{мат.}} + I_{\text{ЗП}} + I_{\text{ам.комп.т.}} + I_{\text{соц.отч.}}) = 0,02 \cdot (53325 + 20859 + 7775,2 + 6883,47) = 1776,85 \text{ руб.}$$

Рассчитываем себестоимость проекта

$$\Sigma I_{\text{проекта}} = I_{\text{мат.}} + I_{\text{ЗП}} + I_{\text{ам.комп.т.}} + I_{\text{соц.отч.}} + I_{\text{накл.расх.}} + I_{\text{прочие}} = 53325 + 20859 + 7775,2 + 6883,47 + 18355,92 + 1776,85 = 102091,97 \text{ руб.}$$

В табл. 3.5 представлена смета затрат на создание компьютерного лабораторного практикума.

Таблица 3.5 – Смета затрат на проект

Виды затрат	Обозначение	Сумма затрат, руб.
Материальные затраты	$I_{\text{мат.}}$	53325
Амортизация компьютерной техники	$I_{\text{ам.комп.техн}}$	7775,2
Затраты на оплату труда	$I_{\text{ЗП}}$	20859
Отчисления на социальные нужды	$I_{\text{соц.отчисл}}$	6883,47
Накладные расходы	$I_{\text{накл.расх}}$	18355,92
Прочие затраты	$I_{\text{прочие}}$	1776,85
Себестоимость проекта	$K_{\text{проекта}}$	102091,97

### 3.6 Выводы по главе 3

В третьей главе выпускной квалификационной работы были рассчитаны затраты на создание электронного курса «Методы расчета устойчивости энергосистем». В процессе работы было выполнено следующее:

1. Представлена организационная структура проекта;
2. Составлена и рассчитана смета затрат на разработку практикума;
3. Сформирован план выполнения проекта;
4. Определены денежные и трудовые ресурсы.

Длительность запланированных работ составила 32 рабочих дня или 49 календарных дней. Себестоимость проекта равна 102,09197 тыс. рублей.

Основной целью данного проекта являлось улучшение качества преподавания дисциплины «Методы расчета устойчивости энергосистем».

В связи с этим, прямой эффект от внедрения созданных лабораторных работ достаточно сложно рассчитать, что выходит за пределы данного исследования.

## **Глава 4 Социальная ответственность**

### **4.1 Производственная безопасность**

#### **4.1.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

Данный раздел включает в себя описание опасных и вредных факторов, оказывающих воздействие на студента при работе с ПК в компьютерном классе. Идентификация потенциальных опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ) проводится с использованием «Классификации вредных и опасных производственных факторов по ГОСТ 12.0.003–74 (с измен. № 1, октябрь 1978 г., переиздание 1999 г.)».

При выполнении лабораторных работ, по средствам персональных компьютеров (ПК), студенты сталкиваются воздействием следующих групп опасных и вредных факторов. К первой группе относятся вредные факторы: повышенный уровень шума, высокая температура, недостаток естественного света и освещенность рабочей зоны. Вторая группа, это опасные факторы. ни включают в себя случаи, связанные с воздействием электрического тока и статического электричества [21].

Условия труда при использовании персонального компьютера характеризуются следующим:

- параметрами рабочего места ( пространственные и эргономические условия рабочего места);
- условиями окружающей среды (освещение в помещении и на рабочем месте, микроклимат, шум и т.д.);
- особенностями взаимодействия человека и компьютера в области информационного взаимодействия [22].

Длительное нахождение человека в зоне комбинированного воздействия разных неблагоприятных факторов может привести к различного рода заболеваниям.

## 4.1.2 Микроклимат

Микроклиматические параметры производственной среды определяются как сочетание параметров влажности и скорости движения воздуха, а также температуры. Работа на ПК в компьютерном классе относится к классу легких работ с энергозатратами 150 ккал/час. В помещениях всех типов образовательных учреждений, где расположены ПЭВМ, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата.

Согласно СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03 оптимальные параметры микроклимата должны соответствовать данным таблицы 4.1:

Таблица 4.1 - Оптимальные параметры микроклимата во всех типах учебных и дошкольных помещений с использованием ПЭВМ

Температура, град. С°	Относительная влажность, %	Абсолютная влажность, г/м <sup>3</sup>	Скорость движения воздуха, м/с
19	62	10	< 0,1
20	58	10	< 0,1
21	55	10	< 0,1

Одним из факторов влияющим на микроклимат в учебной аудитории являются источники тепла, к ним относятся вычислительное оборудование, приборы освещения, а также солнечная радиация. Причем наибольшие суммарные тепловыделения дают ЭВМ в среднем до 80 %. От приборов освещения тепловыделения составляют в среднем 12%, от обслуживающего персонала - 1%, от солнечной радиации - 6%. Приток теплоты через непрозрачные ограждающие конструкции составляет - 1%.

Для поддержания соответствующих микроклиматических параметров в лаборатории используются системы отопления и вентиляции [23].

Система отопления обеспечивает достаточное постоянное и равномерное нагревание воздуха в помещении в холодный период года, а также пожаро- и взрывобезопасность. Систему отопления рассчитывают на возмещение

потерь теплоты через ограждающие конструкции здания, на нагрев проникающего в помещение холодного воздуха.

В компьютерном классе используется водяная система отопления. Достоинством данной системы отопления является то, что она гигиенична, надежна в эксплуатации, и обеспечивает возможность регулирования температуры в широких пределах.

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха в помещении лаборатории применяют систему естественной вентиляции, но для обеспечения наиболее комфортных условий работы в весенне-летнее время года этого недостаточно. Поэтому предлагается установка вентиляторов или системы кондиционирования.

Система кондиционирования воздуха предназначена для поддержания постоянной температуры, влажности и очистки воздуха от загрязнения вредными веществами.

Вредным веществом, содержащимся в воздухе лаборатории, является углекислый газ,  $\text{CO}_2$ . Предельная норма содержания  $\text{CO}_2$  в воздухе - 20 мг/м<sup>3</sup>. Проблему уменьшения содержания  $\text{CO}_2$  в воздухе также можно решить с помощью системы кондиционирования.

### **4.1.3 Производственное освещение**

#### **4.1.3.1 Общие сведения**

В соответствии с ГОСТ Р 50923-96 «Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения» [26] и СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03 [25], «на рабочем месте пользователя ПК должны быть соблюдены нормы освещенности и качественные показатели освещения».

Системы освещения на производстве должны обеспечивать достаточный уровень освещенности рабочих мест, распределение яркости и постоян-

ства во времени. При этом также необходимо ликвидировать ослеплённость и излишне высокую резкость теней. Также, освещенность должна обеспечивать оптимальную направленность световых лучей, отвечать требованиям электро- и пожаробезопасности. Рабочее освещение необходимо выполнять как искусственным, так и естественным.

Проектирование естественного освещения осуществляется в соответствии с действующими строительными нормами и правилами СНиП 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы [24]. Коэффициент естественной освещенности (КЕО) не должен быть ниже 1,2% в зонах с устойчивым снежным покровом и не ниже 1,5% на остальной территории [4].

В аудиториях одностороннее боковое, естественное освещение через световые проемы в наружных стенах. В условиях недостаточной видимости, в утренние и вечерние часы, а также при пасмурной погоде, применяется искусственное освещение. Для искусственного освещения помещения лаборатории следует использовать главным образом люминесцентные лампы, у которых высокая световая отдача (до 75 лм/Вт и более), продолжительный срок службы (до 10 тыс. ч.), малая яркость светящейся поверхности, близкий к естественному спектральный состав излучаемого света, что обеспечивает хорошую светопередачу. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПЭВМ, при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1 -5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования 10:1 [24].

Также не маловажную роль играет цветовая отделка помещения необходимая для обеспечения оптимальных условий работы пользователей дисплейных устройств [25].

#### 4.1.3.2 Расчет системы освещения компьютерного класса

Для определения обеспечения уровня освещенности произведем расчет искусственного освещения для помещения лабораторий 8 корпуса НИТПУ, где проходят занятия и лабораторные работы по курсу «Методы расчета устойчивости». Порядок расчета: 1) выбор системы освещения (общая, местная, комбинированная); 2) выбор типа светильников; 3) определение количества светильников; 4) определение мощности источников света.

Для расчета общего равномерного освещения применяем метод коэффициента использования.

Размеры помещения (рис.4.1):  $H=4$  м – высота помещения;  $A=7$  м – длина помещения;  $B=8$  м – ширина помещения. Высота рабочей поверхности над полом составляет  $h = 0,9$  м. Требуется создать освещенность  $E= 300$  Лк.

Коэффициенты отражения стен и потолка (таблица 4.10 [26]) принимаем  $\rho_{ст} = 70\%$ ;  $\rho_{п} = 70\%$ . Коэффициент запаса светильников с люминесцентными лампами, учитывающий загрязнение светильника, (таблица 4.9 [26])  $K_3 = 1,5$ . Коэффициент неравномерности освещения, отношение  $E_{ср} / E_{min}$ , для люминесцентных ламп при расчетах берется равным  $Z=1,1$ .

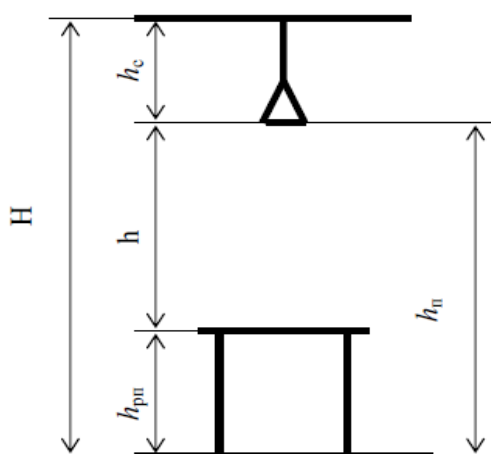


Рисунок 4.1 – Схема подвеса светильников над рабочей поверхностью



где  $H$  - высота помещения,  $h$  - высота подвеса над рабочей поверхностью,  $h_c$  - свес светильника,  $h_n$  - высота подвеса над полом;  $h_p$  - высота рабочей поверхности.

Далее выбираем люминесцентные светильники типа ШОД-2-80 мощностью  $P = 2 \cdot 80$  Вт. Люминесцентные лампы имеют большую светоотдачу и обладают большим сроком службы.

- Высота подвеса светильников над рабочей поверхностью:

$$h = H - h - h_c = 4 - 0,9 - 0 = 3,1(\text{м}).$$

- Расстояние между светильниками (максимальное).

$$L = 1,4 \cdot 3,1 = 4,34 (\text{м}).$$

- Максимальное расстояние между стеной и светильником:

$$L / 3 = 1,5(\text{м}).$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 5 светильников типа ШОД-2-80 мощностью 80 Вт (с длиной 1,53 м). Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рис.4.2). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении  $N = 20$  шт.

Индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{56}{3,1 \cdot (7 + 8)} = 1,2$$

где  $S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;  $A$  и  $B$  - длина и ширина помещения, м.

По таблице 4.11 [26] определяем величину использования светового потока лампы,  $\eta = 48\%$ . Вычислим световой поток лампы:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 56 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{20 \cdot 0,48} = 2888 (\text{Лм}).$$

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов, световой поток каждой лампы составляет 3840 Лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$10\% \leq \frac{\Phi_{л.станд} - \Phi_{л.расч}}{\Phi_{л.станд}} 100\% \leq +20\% .$$

Получаем

$$10\% \leq 33\% \leq +20\%$$

Необходимый поток лампы выходит за пределы диапазона, скорректируем число светильников, уменьшим их число до 8 шт., следовательно количество ламп равно  $N=16$  шт. Проведем расчет светового потока заново:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 56 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{16 \cdot 0,48} = 3609 \text{ (Лм)}.$$

Сделаем проверку:

$$10\% \leq 6,4\% \leq +20\% .$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки.

$$P = 16 \cdot 80 = 1280 \text{ Вт}.$$

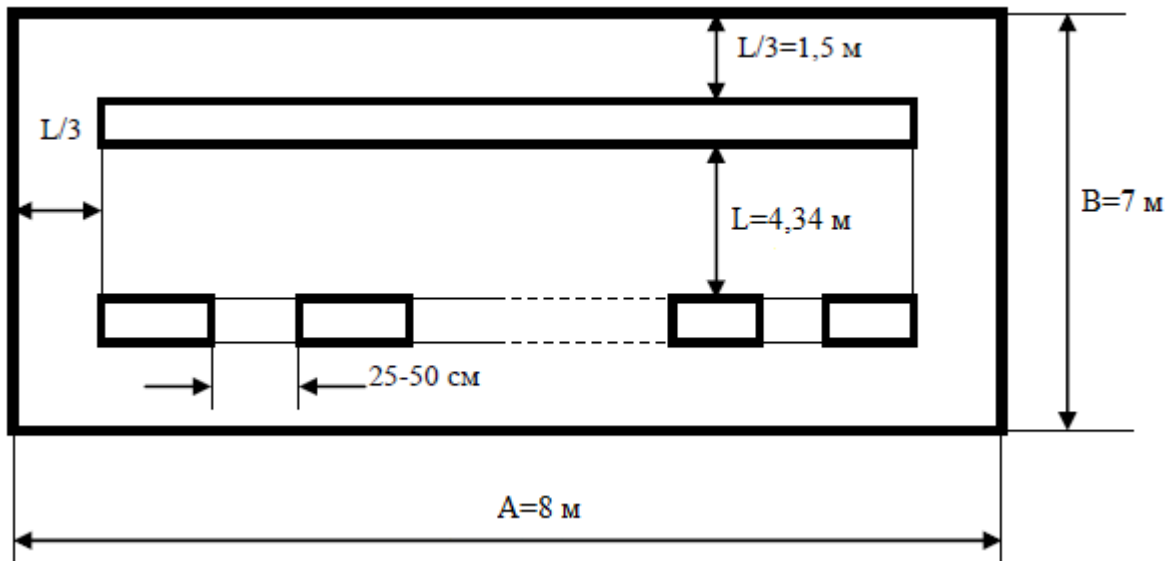


Рисунок 4.2 – План размещения светильников

#### 4.1.4 Шумы и вибрация, мероприятия по их снижению

Уровни шума на рабочих местах пользователей ПК не должны превышать значений, установленных ГОСТ Р50923-96 и СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03.

Источниками шума на рабочих местах с ВДТ и ПЭВМ являются шумные агрегаты вычислительных машин (АЦПУ, принтеры и т.п.), установки кондиционирования воздуха, преобразователи напряжения и другое оборудование. Уровень шума на основных рабочих местах (диспетчерские, операторские, расчетные кабины и посты управления, залы вычислительной техники и др.) не должен превышать 50 дБА. На рабочих местах в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин (принтеры и т.п.) уровень шума не должен превышать 75 дБА.

Снижение шума, создаваемого на рабочих местах внутренними источниками, а также шума, проникающего извне, осуществляется следующими методами:

- уменьшением шума в источнике;
- рациональной планировкой помещения;
- уменьшением шума на пути его распространения (звукоизоляция, звукопоглощение).

Наиболее рациональной мерой является уменьшение шума в источнике. Это связано с наибольшими затратами, так как требует конструкторской переработки излучающих шум узла или механизма. Однако можно порекомендовать такое мероприятие, как применение менее шумного оборудования. Например, замена струйного принтера на лазерный. Кроме того, шумящее оборудование следует устанавливать на виброизолирующие поверхности автономно от рабочего места пользователя. В качестве виброизолирующей поверхности используется резина, войлок, пробка, мягкие коврики из синтетических материалов. Если уровни шума от печатающего оборудования превышают нормированные, оно должно быть расположено вне помещения с ПК.

Рациональная планировка помещения, размещения оборудования является важным фактором, снижающим шум на рабочих местах с ВДТ и ПК. При планировке помещения наиболее шумящее оборудование необходимо

располагать вдали от терминалов и другого сервисного оборудования в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация [22].

Дополнительными мерами по шумопогашению могут быть: устройство подвесного потолка, который служит звукопоглощающим экраном; использование звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63 — 8000 Гц для отделки помещений; установка шумящего оборудования на виброизолирующие поверхности автономно от рабочего места пользователя, в качестве виброизолирующей поверхности используется резина, войлок, пробка, мягкие коврики из синтетических материалов.

#### **4.1.5 Электромагнитные поля**

ПЭВМ являются источниками разнообразных излучений: мягкого рентгеновского, ультрафиолетового излучений, радиочастотного диапазона, электростатических полей.

Оценка фактических значений электромагнитных излучений, при невозможности проведения измерений, может быть приведена по паспорту ПЭВМ, либо по данным о характеристиках рентгеновского излучения, генерируемого электровакуумными приборами и установками.

Параметры электромагнитных излучений на рабочем месте пользователя ПК и величина электростатического потенциала экрана дисплея не должны превышать значений, установленных СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03 [25]. Требования к электромагнитным полям дисплея приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Основным источником электромагнитных излучений от мониторов ПЭВМ (ПК) является высокочастотный трансформатор строчной развертки, который размещается в задней или боковой части терминала. Таким образом, уровень излучения со стороны задней панели дисплея выше, причем стенки корпуса не экранируют излучение.

Уровень электромагнитного поля в значительной степени зависит от типа и качества электропроводки. Например, в тех помещениях, где отсутствует общее заземление - третий контакт вилки, ПК оказывается «висящим» в воздухе, что существенно увеличивает уровень электромагнитного поля. Кроме того, низкочастотные поля излучаются и электроприборами, и люминесцентными лампами, и жгутами электропроводки, которые нередко оплетают рабочие места. Исследования показали, что применение фильтров, уменьшая электрическую составляющую электромагнитного поля в непосредственной близости от экрана, может, из-за перераспределения поля, привести к его увеличению на расстоянии более 1,0-1,5м от экрана по оси электронно-лучевой трубки и по сторонам от нее.

Для снижения излучений необходимо выполнить следующее: мероприятия по сертификации ПЭВМ (ПК) и аттестации рабочих мест; применение экранов и фильтров; организационно-технические мероприятия.

Все ПЭВМ (ПК) должны иметь гигиенический сертификат. Для работы должны использоваться ПК, имеющие дисплей с низким уровнем излучения. Санитарно-гигиенический надзор и контроль за электромагнитными (ЭМИ) и другими видами излучения рекомендуется осуществлять как на стадии выпуска ПК, так и в процессе их эксплуатации. При установке на рабочем месте ПК должен быть правильно подключен к электропитанию и надежно заземлен. Для обеспечения предельно допустимых уровней электромагнитных излучений необходимо рациональное размещение рабочих мест, оснащенных ПЭВМ (ПК). Для этой цели ПК следует располагать в одном ряду на расстоянии не менее 1 м от стен; рабочие места с дисплеями должны располагаться между собой на расстоянии не менее 1,5 м. Минимальная ширина проходов с передней стороны пультов и панелей управления ПЭВМ при однорядном его расположении должна быть не менее 1 м, при двухрядном - не менее 1,2 м. Для защиты работающих соседних рабочих мест рабочие столы с ПК следует размещать так, чтобы расстояние между тыльной поверхностью одного дисплея и экраном другого было не менее 2 метров, а расстояние между боковыми поверхностями корпуса дисплеев соседних рабочих мест не меньше 1,2 м. Для этой цели рекомендуется также устанавливать между рабочими столами специальные защитные экраны, имеющие покрытие, поглощающее низкочастотное электромагнитное излучение.

Экран дисплея должен находиться от пользователя ПК на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров цифровых знаков и символов, которые должны соблюдаться в процессе работы. Для исключения воздействия на пользователя повышенных уровней излучений от боковых стенок корпуса дисплея, не следует размещать рядом с ПК какое-либо другое производственное оборудование (в т.ч. печатающее устройство). Для защиты от вредного воздействия ЭМИ и уменьшения нагрузки на органы зрения рекомендуется применение защитных экранов и фильтров. Выбор конкретной

марки фильтра должен осуществляться, исходя из эффективности его защитных свойств и светотехнических характеристик. Рекомендуется применять фильтры (экраны) на мониторы ПК класса «Полная защита».

При эксплуатации защитный фильтр должен быть плотно установлен на экране дисплея и надежно заземлен. Заземление подключается к общему контуру заземления. Сопротивление контура заземления не должно превышать 4 Ом. Защитный фильтр, также как и экран дисплея, ежедневно следует очищать от пыли.

Во всех случаях превышения предельно-допустимых уровней напряженности статических электрических полей, создаваемых видеотерминалами на рабочих местах пользователей ЭВМ должны применяться в первую очередь средства коллективной защиты. В качестве этого применяют защитное заземление оборудования. Для устранения воздействия на работающих электростатического разряда целесообразно применять нейтрализаторы и увлажнители. В качестве материалов, используемых для внутренней отделки интерьера помещения, рекомендуется применение антистатических средств и материалов, разрешенных органами и учреждениями Госсанэпиднадзора. Кроме того, в помещениях необходимо проводить ежедневную влажную уборку, а пользователям ПК не рекомендуется работать в одежде из синтетических материалов [22].

#### **4.1.6 Вредные вещества в воздухе рабочей зоны и их классификация**

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [35] повышенная запыленность и загазованность воздушной среды рабочей зоны относится к физически опасным и вредным производственным факторам. Многие вещества, попадая в организм, приводят к острым и хроническим отравлениям. Способность ве-

щества вызывать вредные действия на жизнедеятельность организма называют токсичностью.

По степени потенциальной опасности воздействия на организм человека вредные вещества, содержащиеся в воздухе рабочей зоны разделены на 4 группы:

- I класс — чрезвычайно опасные (озон и др.);
- II класс — высокоопасные (сероводород и др.);
- III класс — умереноопасные (камфара и др.);
- IV класс — малоопасные (аммиак).

Основным критерием качества воздуха является предельно допустимые концентрации(ПДК) Фактическая концентрация вредных веществ не должна превышать значений изложенных в ГОСТ 12.1.007-76 [41].

Кондиционированием в закрытых помещениях и сооружениях можно поддерживать необходимую температуру, влажность и ионный состав, наличие запахов воздушной среды, а также скорость движения воздуха. Система кондиционирования включает в себя комплекс технических средств, осуществляющих требуемую обработку воздуха, транспортирование его и распределение в обслуживаемых помещениях, устройствах для глушения шума, вызываемого работой оборудования.

## **4.2 Воздействие объекта на окружающую среду**

### **4.2.1 Влияние компьютерной техники**

На состояние окружающей среды и на живые организмы оказывают сильное влияние различные экологические факторы. Экологический фактор – любое среды, способное оказывать прямое или косвенное воздействие на живые организмы. Экологические факторы делятся на три категории: 1) абио-



тические – факторы неживой природы; 2) биотические – факторы живой природы; 3) антропогенные - факторы человеческой деятельности [27].

В нашем случае таким антропогенным фактором является влияние компьютерной техники. ПЭВМ являются источниками широкополосных излучений: мягкого рентгеновского, ультрафиолетового, радиочастотного диапазона, электростатических полей.

По результатам исследований, проведенных Центром электромагнитной безопасности, в России лишь 15% компьютеров полностью удовлетворяют международным нормам, 31% - частично, а 54% никак не соответствуют международным стандартам и требуют защиты как пользователя, так и окружающих людей [28].

Электромагнитные поля (ЭМП) обладают способностью биологического, специфического и теплового воздействия на организм человека.

Биологическое воздействие ЭМП зависит от длины волны, интенсивности, продолжительности и режимов воздействия, размеров и анатомического строения органа, подвергающегося воздействию ЭМП.

ЭМП миллиметрового диапазона поглощаются поверхностными слоями кожи, сантиметрового - кожей и прилегающими к ней тканями, дециметрового - проникают на глубину 8 - 10 см. Для более длинных волн ткани тела человека являются хорошо проводящей средой.

Специфическое воздействие ЭМП обусловлено биохимическими изменениями, происходящими в клетках и тканях. Наиболее чувствительными являются - центральная и сердечно-сосудистая системы. Для общей клинической картины хронического воздействия ЭМП характерны: головная боль, утомляемость, ухудшение самочувствия, гипертония, изменение проводимости сердечной мышцы.

Тепловое воздействие ЭМП характеризуется повышением температуры тела, локальным избирательным нагревом тканей, органов, клеток вследствие перехода ЭМП в тепловую энергию.

Интенсивность нагрева зависит от количества поглощенной энергии и скорости оттока тепла от облучаемых участков тела. Отток тепла затруднен в органах и тканях с плохим кровообращением (хрусталик глаза - под действием облучения в нем могут происходить коагуляция белков или диффузные изменения с последующим развитием катаракты).

Оценка фактических значений электромагнитных излучений, может быть проведена по паспорту ЭВМ, либо по данным о характеристиках рентгеновского излучения, генерируемого электровакуумными приборами и установками [22].

Для защиты от излучения применяют защитные экраны и ограничивают время работы с ПЭВМ [22].

- Рекомендуемая полная продолжительность рабочего времени за экраном монитора взрослого пользователя, использующего обычный монитор с защитным фильтром - 4 часа за 8 -ми часовой рабочий день.

- В конце каждого часа работы необходимо делать 5 - минутный перерыв, а через каждые 2 часа - 15 минутный, выключить монитор и покидать рабочее место.

Средства защиты от излучений компьютерной техники представлены в табл.4.3.

Таблица 4.3 – Средства защиты от излучений оптического диапазона и электромагнитных полей ПЭВМ

№ п/п	Средство профилактики неблагоприятного влияния ПЭВМ	Оказываемое действие	профилактическое
1	Приэкранные защитные фильтры для видеомониторов	Снижают уровень электрического электростатического поля, повышают контрастность изображения, уменьшают блики	напряженности и поля, контрастность
2	Нейтрализаторы электрических полей промышленной частоты	Снижают уровень промышленной частоты (50 Гц)	электрического частоты
3	Очки защитные со спектральными фильтрами ЛС и НСФ, разрешенные Минздравом России для работы с ПЭВМ	Профилактика зрительного синдрома, визуальных видеомониторов, работоспособности, зрительного утомления	компьютерного улучшения показателей повышения снижения

#### 4.2.2 Человек и окружающая среда

Человек в течение всей своей жизни находится под постоянным воздействием целого спектра факторов окружающей среды. Человек неотделим от среды, в которой он существует.

Биологическое и социальное выступают как генетически и функционально связанные уровни целостной организации человека.

Созданием вокруг себя искусственной среды обуславливается специфика человека, как объекта действия экологических факторов [29]. Это действие всегда опосредовано результатами производственной деятельности людей. В результате естественные экосистемы вытесняются антропогенными экосистемами, абсолютно доминирующим экологическим фактором, которым является сам человек. Среда обитания человека, таким образом, включает биоприродный и социально-культурный компоненты, или естественную и искусственную среды. Причем в естественной и культурной средах человек представлен как биосоциальное существо [30].

Техносфера есть результат стремления человека изменять окружающий мир, его активной и деятельной сущности. Многие поколения людей, ставя перед собой задачу «покорения» природы и создания комфортных

условий жизнедеятельности, формировали техногенную, искусственную среду, которая должна была выполнять их желания в отличие от непредсказуемой стихийности природы. Они преуспели в этом, но решенная задача породила новую проблему – эффективного управления техногенной средой или хотя бы прогнозирования с достаточной степенью вероятности ее реакций на все новые инновации. Как и всякой объективной реальностью, техносферой движут собственные закономерности, поэтому она относительно независима не только от внешней природы, но и от породившего ее человечества, от его потребностей. Поэтому отмечается противоречивое воздействие техносферы на человеческую жизнь – сочетание позитивных и негативных последствий [31].

Рост производства и усиленная переработка природных ресурсов привели к проблеме техногенных загрязнений. Со становления индустриального типа производства общественной жизни началась все более явная деградация биосферы. Если аграрное общество знало местные экологические кризисы, то расширение промышленного производства ведет к усилению негативных экологических последствий. С промышленной революции начался бурный пространственный рост техносферы – и по мере увеличения городов и развития промышленности оставалось все меньше нетронутых территорий [30].

Современные исследователи констатируют противоречивое влияние техносферы на человеческую жизнь: с одной стороны, она, создавая комфортную искусственную среду и удовлетворяя материальные потребности людей, поддерживает их существование; а с другой – техносферное воздействие оказывает все большее негативное влияние на биосферную жизнь и социокультурные процессы [33].

На человека одновременно оказывают воздействия многие факторы – природные, техногенные, социальные. Эти воздействия переменны во времени. Реакция человека на них тоже переменна и зависит от множества обстоятельств. Среди них степень воздействия на человека динамики внешних фак-

торов – метеофакторов, в частности различного рода загрязнений атмосферы, гидросферы, почв, социальных факторов (праздники, экономические кризисы). Влияние этих факторов бесспорно, но оно не одинаково для людей, имеющих различные физиологические показатели (артериальное давление, частота сердечных сокращений) и психическое состояние.

Загрязнение атмосферного воздуха является одним из ведущих факторов риска для здоровья населения. Установлена статистически значимая зависимость от загрязнения атмосферного воздуха заболеваемости респираторными заболеваниями, а также физического развития детей.

В настоящее время расширяется список экологически обусловленных заболеваний. Бронхиальная астма, особенно в детском возрасте, рассматривается как манифестный показатель загрязнения атмосферного воздуха. Отмечается увеличение частоты обострений заболевания не только при повышенном содержании в атмосферном воздухе окислов азота, диоксида серы и других химических ингредиентов бронхитогенного действия, но и тогда, когда они находятся на уровне, не превышающем гигиенических нормативов.

Нарушение гармоничных взаимоотношений с природой может иметь опасные и даже трагические последствия для уже живущего и будущих поколений. Чтобы избежать катастрофы, необходимо осознать естественные экологические принципы и правила, которые сегодня разрабатываются экологией человека (изучающей адаптационные возможности его организма) и социальной экологией (исследующей взаимоотношения общества и окружающей среды). Всю свою предыдущую историю человек вел нескончаемую борьбу с дикой природой, адаптируя ее для собственных нужд. С развитием техники покорение природы пошло быстрее. Однако темпы исчезновения биологических видов поражают. И мы до сих пор не знаем, увидят ли наши потомки хоть что-нибудь из того прекрасного дикого мира, который еще недавно окружал нас [30].

Сохранение окружающей среды это дело каждого человека, со стороны государства способом преодоления создавшейся экологической ситуации является реализации экологических и социальных программ, направленных на обеспечение безопасности и повышения надежности в производственной сфере, и других сферах жизнедеятельности человека. Необходимо внедрять чистые технологии в производстве, безотходное производство, переработку различного рода отходов (производственные, бытовые и т.д.). Помимо этого экологическую обстановку можно улучшить с помощью искусственного восстановления растительного и животного мира.

Рациональное использование природных ресурсов играет не маловажную роль, в современном мире, ориентированном на получение перманентной экономической выгоды. Чаще всего рассматривают лишь финансовую сторону вопроса, при этом игнорируют возможность загрязнения окружающей среды и возможность возникновения экологической катастрофы. Для предотвращения такого развития событий, требуется вмешательство на государственном уровне, в частности ужесточение природоохранного законодательства.

## **4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **4.3.1 Пожарная безопасность**

Пожарная профилактика – это комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, а также на создание условий для тушения пожара.

В современных ЭВМ очень высокая плотность размещения элементов, электронных схем. В непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, коммутационные кабели. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты, что может привести к повышению температуры отдельных узлов до 80-

100°C. При этом возможно оплавление изоляции соединительных проводов, их оголение, и как следствие, короткое замыкание, которое сопровождается искрением, ведет к недопустимым перегрузкам элементов электронных схем. Последние, перегреваясь, сгорают с разбрызгиванием искр, что может вызвать пожар.

Пожарная опасность возникает и при проведении обслуживающих ремонтных и профилактических работ вычислительных машин. При этом используют различные смазочные вещества, легко воспламеняющиеся жидкости, ведут пайку и чистку отдельных узлов и деталей. Все это требует принятия соответствующих мер пожарной профилактики.

Учитывая высокую стоимость электронного оборудования вычислительного зала, помещения, в котором оно находится, должно быть 1 или 2 огнестойкости. Для строительства конструкций необходимо использовать кирпич, железобетон, стекло и другие негорючие материалы [22].

Помещение компьютерного класса по взрывопожарной безопасности относится к категории В (в соответствии со СНиП 11-2-80). Класс пожароопасности по ПУЭ-П-2а: степень защиты электрооборудования- стационарные IP44, передвижной IP54, светильник IPO.

#### Мероприятия противопожарной профилактики

1. Хранить информацию желательно в обособленных помещениях, оборудованных несгораемыми шкафами и стеллажами.

2. В помещениях, смежных с залами для ПЭВМ, нежелательно размещение производств категории "А" и "В".

3. Система вентиляции должна быть оборудована устройством, обеспечивающим автоматическое отключение при пожаре.

4. Подачу воздуха к ПЭВМ, для охлаждения, необходимо предусматривать по самостоятельному воздуховоду.

5. Система электропитания ПЭВМ должна иметь блокировку, обеспечивающую отключение в случае охлаждения.

6. Работы по ремонту узлов ПЭВМ должны производиться в отдельных помещениях.

7. Необходимо производить очистку от пыли всех аппаратов и узлов ПЭВМ (желательно раз в месяц).

Для предотвращения распространения огня во время пожара с одной части здания на другую, устраивают противопожарные преграды в виде стен, перегородок, дверей, окон.

В коридорах, на лестничных площадках и у входов, должны быть установлены пожарные краны. В помещении должны быть первичные средства огнетушения: ящик с сухим песком, огнетушители.

Для нашего вычислительного зала наиболее целесообразно применение ручных углекислотных огнетушителей типа ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8.

При возгорании или возникновении пожара следует немедленно начать эвакуацию людей, отключить подачу воздуха по системе вентиляции, обесточить помещение и вызвать пожарную охрану.

При эвакуации, следует не создавать паники и двигаться в соответствии с планом эвакуации [33].

В соответствии с нормами СНиП 2.01.02-85 для ликвидации пожаров в начальной стадии применяются первичные средства пожаротушения: *пожарные краны; химические пенные огнетушители* типа (ОХП-10), (ОХВП-10); *углекислотные огнетушители* (ручные ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8; передвижные-ОУ-25, ОУ-80); *порошковые огнетушители* типа ОП-5-01.

В настоящее время углекислотные и порошковые огнетушители являются основными для производственных помещений ВЦ. Химические пенные огнетушители постепенно заменяются порошковыми.



### **4.3.2 Безопасность при чрезвычайных антропогенных и природных ситуациях**

Одно из актуальных проблем человечества сегодня является предупреждение и ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Чрезвычайными ситуациями называют обстоятельства, возникающие в результате природных стихийных бедствий, аварий и катастроф техногенного, экологического происхождения, военного, социального и политического характера, вызывающие резкое отклонение от нормы жизнедеятельности людей, экономики, социальной сферы и природной среды. ЧС отличаются масштабностью, охватывающие значительную территорию и угрожающие большому числу людей [34].

ЧС классифицируют [34]: по природе возникновения – природные, техногенные, экологические, биологические, антропогенные, социальные и комбинированные; по масштабам распространения последствий – локальные, объектовые, местные, национальные, региональные, глобальные; по причине возникновения – преднамеренные и непреднамеренные (стихийные); по скорости развития – взрывные, внезапные, скоротечные, плавные; по возможности предотвращения – неизбежные (природные) предотвращаемые (техногенные, социальные), антропогенные [34].

В зависимости от масштабов чрезвычайных ситуаций, обстановки, которая может сложиться на подвергшихся бедствию территориях (в республике, области, районе, городе, на предприятии), объема причиненного ущерба, численности пострадавшего населения в ЧС подразделяются на 3 уровня [26]:

1. Глобальные (федеральные);
2. Региональные (республиканские, областные, районные, городские);
3. Местные (объектные, частные).

К основным причинам возникновения чрезвычайных ситуаций можно отнести следующее:

1. Результат стихийных бедствий и особо опасных инфекций;
2. Воздействие внешних природных факторов, приводящих к старению или коррозии металлов, конструкций, сооружений и снижение их физико-механических показателей;
3. Проектно-производственные дефекты сооружений (ошибки при изысканиях и проектировании, низко качественное выполнение строительных работ, плохое качество строительных материалов и конструкций, нарушения в технологии изготовления и строительства);
4. Воздействия технологических процессов промышленного производства на материалы сооружений (нагрузки, скорость, высокие температуры, вибрация);
5. Нарушение правил эксплуатации, сооружений и технологических процессов (вызывающих взрывы котлов, химических веществ, угольной пыли, метана в шахтах);
6. Нарушение правил техники безопасности при ведении работ и технологических процессов;
7. Ошибки, связанные с системой отбора руководящих кадров, низким уровнем профессиональной подготовки рабочих и их некомпетентностью и безответственностью.

Анализ выше указанных причин показывает, что основную опасность несут человеческие ошибки: свыше 60% аварий на потенциально опасных объектах происходит из-за ошибок персонала. По некоторым оценкам, человеческие ошибки обуславливают: 45% экстремальных ситуаций на АЭС; 60% авиакатастроф; 80% катастроф на море; 90% катастроф на автодорогах.

Для объекта исследований выпускной квалификационной работы характерно возникновения возгорания (пожар), как чрезвычайной ситуации. Методы предотвращения данной ситуации описаны в пункте 3.1.

#### **4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Охрана труда — система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Охрана труда рассматривается с нескольких позиций:

1. Как основной принцип трудового права и трудовых правоотношений.

2. Как система законодательных актов, а также предупредительных и регламентирующих социально-экономических, организационных, технических, санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий, технических средств и методов, направленных на обеспечение безопасных условий труда (ГОСТ 12.0.002-80).

Техника безопасности

Техника безопасности (ТБ) — свод правил и положений, направленный на обеспечение условий безопасного труда и/или проведения каких-либо других работ, а также мероприятия, направленные на устранения факторов, причиняющих вред здоровью.

Целями техники безопасности служат:

- Обеспечение безопасности;
- Сведение получения производственных и/или прочих травм к минимуму;
- Охрана здоровья;

Система организационных и технических мероприятий, направленных на уменьшение или исключение влияния опасных и вредных факторов на человека во время трудовой деятельности.

## Границы производственной санитарии

- оздоровление воздушной среды и нормализация параметров микроклимата в рабочей зоне;
- защита работающих от шума, вибрации, электромагнитных излучений и др.;
- обеспечение требуемых нормативов естественного и искусственного освещения;
- поддержание в соответствии с санитарными требованиями территории предприятия.

ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [35] устанавливает оптимальные и допустимые микроклиматические условия.

Отопление предусматривает поддержание во всех производственных зданиях и сооружениях температуры, соответствующей установленным нормам. Система отопления должна компенсировать потери тепла через строительные ограждения, а также нагрев проникающего в помещении холодного воздуха.

Министерство труда Российской Федерации от 17.12. 2002 года постановлением № 80 утвердило Методические рекомендации по разработке государственных нормативных требований охраны труда. Данным документом установлен порядок разработки, согласования, утверждения, учета, издания, распространения, отмены правил и инструкций по охране труда, установлены требования к их построению, содержанию, оформлению и обозначению, порядок их проверки, пересмотра и обеспечения ими предприятий, а также надзор и контроль за их соблюдением.

Правила по охране труда не исключают действия стандартов Системы стандартов безопасности труда (ССБТ), строительных и санитарных норм и

правил, а также правил, норм безопасности, утвержденных федеральными надзорами России, и не должны противоречить этим документам.

Правила по охране труда — нормативный акт, устанавливающий требования по охране труда, обязательные для исполнения при проектировании, организации и осуществлении производственных процессов, отдельных видов работ, эксплуатации производственного оборудования, установок, агрегатов, машин, аппаратов, а также при транспортировании, хранении, применении исходных материалов, готовой продукции, веществ, отходов производств и т. д.

Правила по охране труда могут быть межотраслевого и отраслевого назначения. Межотраслевые правила по охране труда утверждаются Министерством труда Российской Федерации, а отраслевые правила — соответствующими федеральными органами исполнительной власти по согласованию с Министерством труда Российской Федерации.

Правила по охране труда утверждаются на определенный срок действия или без ограничения этого срока.

Инструкция по охране труда — нормативный акт, устанавливающий требования по охране труда при выполнении работ в производственных помещениях, на территории предприятия, на строительных площадках и в иных местах, где производятся эти работы или выполняются служебные обязанности.

#### **4.5 Выводы по главе 4**

В разделе социальная ответственность: произведен анализ вредных факторов физического и психофизического характера, которые могут оказывать воздействие на человека в рабочей зоне; были выявлены возможные чрезвычайных ситуации, возникновения которых наиболее вероятно в зоне использования объекта исследования ВКР.

Также охарактеризовано влияние компьютерной техники на человека, так как прохождение электронного курса подразумевает использование персонального компьютера. Производственное освещение является одной из важных составляющих комфортных условий работы. На рабочем месте пользователя ПК должны быть соблюдены нормы освещенности и качественные показатели освещения. Для того, чтобы оценить качество освещения компьютерного класса, произведен расчет освещения и получено необходимое количество светильников, которое будет соответствовать нормальным условиям на рабочем месте студентов.

## Заключение

Практическим результатом магистерской диссертации явилась разработка элементов электронного курса “Методы расчета устойчивости” и создание двух лабораторных работ “Построение области допустимых режимов по апериодической статической устойчивости трехмашинной энергосистемы”, “Определение динамической устойчивости многомашинной энергосистемы”, а также тестовых примеров к ним.

В ходе выполнения магистерской диссертации выполнены следующие задачи:

1. Проведен анализ литературы по методам расчета устойчивости энергосистем, сформулированы задачи исследования устойчивости энергосистем

2. Изучены современные требования к профессиональной подготовке студентов и сформулирована актуальность создания электронного обучающего курса.

3. Сформулированы основные задачи и требования к системе электронного обучения, проанализированы существующие системы и выбрана система Moodle.

4. Разработаны элементы электронного курса “Методы расчета устойчивости энергосистем”, произведена его настройка и наполнение учебным материалом.

5. Рассмотрено текущее программное и методическое обеспечение лабораторного практикума по дисциплине “Методы расчета устойчивости энергосистем” и сделаны выводы о необходимости его дальнейшего развития и совершенствования. Разработаны следующие лабораторные работы и тестовые примеры к ним:

- Лабораторная работа “Построение предельных и допустимых по статической устойчивости областей режимов работы энергосистем” и лабораторной работы

- Лабораторная работа “Определение динамической устойчивости многомашинной энергосистемы”.

В процессе исследования на основе существующего учебного пособия “Методы расчета устойчивости энергосистем” были созданы элементы соответствующего электронного курса, определены задачи исследования устойчивости энергосистем – определение предельных режимов по апериодической статической устойчивости, оценка колебательной статической устойчивости энергосистем, выбор настроечных параметров систем автоматического регулирования, исследование динамических свойств энергосистем (электро-механические переходные процессы), анализ динамической устойчивости при различных аварийных ситуациях и выбор противоаварийных мероприятий и настройка устройств противоаварийной автоматики.

Выбраны программные комплексы, удовлетворяющие требованиям простоты, наглядности, точности вычислений – ПК Mustang и ПК RastrWin.

В лабораторной работе, посвященной статической апериодической устойчивости производится эквивалентирование реальной схемы части Томской энергосистемы с последующим утяжелением двух генераторных узлов для оценки пределов передаваемой мощности по условию сохранения статической апериодической устойчивости по сечениям между этими узлами. Далее, на основе полученных данных по предельным величинам утяжеления строится область предельных по статической апериодической устойчивости режимов работы энергосистемы. На следующем этапе производится построение области допустимых режимов работы энергосистемы, учитывающих коэффициенты запаса статической устойчивости.

При выполнении лабораторной работы по статической устойчивости студенту необходимо оценить динамическую устойчивость данной энерго-



системы. Для этого используется программный комплекс Mustang. В нем необходимо, в зависимости от варианта, задать в таблицу автоматики нормативные возмущения, определенные Методическими указаниями по устойчивости энергосистем, задать переходные параметры генераторных узлов и контролируемые параметры, после чего выполнить серию расчетов переходных режимов работы, построить три группы графиков – графики зависимости изменения угла ротора генераторов от времени, график зависимости изменения частоты генераторов от времени и график изменения электромагнитной мощности генераторов от времени и, на основе этих графиков, сделать выводы о динамической устойчивости рассматриваемой энергосистемы.

Рассчитаны затраты на разработку компьютерного лабораторного практикума, длительность запланированных работ составила 32 рабочих дня, себестоимость проекта равна 102,092 тыс. рублей.

Рассмотрены вопросы производственной и экологической безопасности.

### Список используемых источников

1. ГОСТ 21027-75 "Государственный стандарт Союза ССР. Системы энергетические. Термины и определения" (введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 29.07.1975 N 1972) (ред. от 01.02.1986).
2. Элементы теории устойчивости энергосистем. / Костюк О.М. – Киев: Наук. думка, 1983. – 296 с.
3. Портной М.Д. Управление энергосистемами для обеспечения устойчивости / Портной М.Д., Рабинович Р.С.— Москва: Энергия, 1978 г.
4. Методы расчета устойчивости энергосистем: Учебное пособие / Хрущев Ю.В. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 176 с.
5. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических энергосистемах: Учеб. для электроэнергет. спец. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп / Веников В.А. – М.:Выш.шк.,1985. – 536 с. ил.
6. Избранные труды по вопросам устойчивости электрических систем – М.; Л. / Горев А.А. – Госэнергоиздат, 1960. – 260 с.
7. О статической устойчивости двух синхронных машин, питающих общую нагрузку с заданными характеристиками. – В кн.: Техника высоких напряжений. М.; Л. / Горев А.А. – Госэнергоиздат, 1954, с. 10-50.
8. Переходные процессы синхронной машины. – М.; Л. / Горев А.А. – Госэнергоиздат, 1950. – 551 с.
9. I О колебаниях синхронных машин. II. Об устойчивости параллельной работы n синхронных машин / Крылов М.К. – (ВСНХ УССР, Укр. НИИ пром. Энергетики. Группа I Э; Вып. II). – 1932. – 99 с.
10. Общая задача об устойчивости движения / Ляпунов А.М. – Москва; Одесса; Гостехиздат, 1950. – 471 с.
11. Меркурьев Г.В. Устойчивость энергосистем. Расчеты: Монография / Меркурьев Г.В., Шаргин Ю.М. – СПб.: НОУ "Центр подготовки кадров энергетики", 2006. - 300с.

12. Маркович И.М. Практические критерии статической устойчивости электрической системы / Маркович И.М., Совалов С.А. Практические критерии статической устойчивости электрической системы. "Электричество", 1945, № 3.
13. Компаундирование и искусственная устойчивость синхронных машин / Л. В. Цукерник – Сб. тр. АН УССР. К, 1949, с. 205—222.
14. О переходных процессах в синхронных машинах с успокоительными контурами на ротор. / Мамиконянц Л. Г. — «Электричество», 4954, № 7, с. 40—16.
15. Мамиконянц Л. Г. Асинхронные режимы, несинхронные включения и ресинхронизация генераторов Куйбышевской ГЭС / Мамиконянц Л. Г., Совалов С. А., Хачатуров А. А. — «Электричество», 1957, № 14, с. 64—73.
16. Мамиконянц Л. Г. Исследование процесса синхронизации гидрогенераторов / Мамиконянц Л. Г., Портной М. Г. — «Электричество», 1959, № 3, с. 118—24.
17. Мамиконянц Л. Г. По поводу статьи Ю. С. Маврычева «Влияние форсировки возбуждения генератора на втягивание в синхронизм» / Мамиконянц Л. Г., Портной М. Г., Хачатуров А. А. — «Электрические станции», 1971, № И1, с. 79—811
18. Мамиконянц Л. Г. Обобщение опыта применения асинхронных режимов в энергосистемах / Мамиконянц Л. Г., Портной М. Г., Хачатуров А. А. — «Электричество», 11965, № 6, с. Т—6.
19. Мамиконянц Л. Г. О нарушении устойчивости в энергосистеме вследствие асинхронного режима по одной из электропередач / Мамиконянц Л. Г., Портной М. Г., Хачатуров А. А. — «Электричество», 1966, № 6, с. 8—111.
20. Мелешкин Г.А. Устойчивость энергосистем. Монография. Книга 1 / Мелешкин Г.А., Меркурьев Г.В. – СПб.: НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2006. – 369 с.

21. Переходные электромеханические процессы в электрических энергосистемах: Учеб. для электроэнергет. спец. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. / Веников В.А. – М.:Высш.шк.,1985. – 536 с. ил.
22. Повышение качества высшего образования в Российской Федерации / Ефимова И.А. – «Российское предпринимательство» № 5 Вып. 1 (183) за 2011 год, стр. 151-154.
23. Компетентностный подход в инженерном образовании / Э. Д. Алисултанова – Академия естествознания, 2010. - 154 с. ; 20 см. - Библиогр.: с. 144-154.
24. Современные методы и технология обучения в техническом вузе: Метод. Пособие. / Долженко О.В., Шатуновский В.Л. – М. Высш.шк., 1990. – 191 с.:ил.
25. Инженерная энциклопедия [Электронный ресурс]: Системные аварии. Устойчивость энергосистемы Электрон. дан. URL: <http://engineeringsystems.ru/expluataciya-aes/sistemniye-avarii.php>, свободный. – Загл.с экрана. Дата обращения: 22.03.
26. Хрущев Ю.В. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах: учебное пособие / Ю.В. Хрущев, К.И. Заповодников, А.Ю. Юшков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012-154 с.
27. Единый алгоритм оценки статической устойчивости и расчет установившихся режимов энергосистем/ Готман В.И. – Известия Томского политехнического университета. - 2007 - том.311. №4. - с.134-138
28. Методические указания по устойчивости энергосистем: утверждены Приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 277, 2003. -14с.
29. Повышение качества высшего образования в Российской Федерации / Ефимова И.А. – «Российское предпринимательство» № 5 Вып. 1 (183) за 2011 год, стр. 151-154.

30. Компетентностный подход в инженерном образовании / Алисултанова Э.Д. – Академия естествознания, 2010. - 154 с. ; 20 см. - Библиогр.: с. 144-154.
31. Методы расчета устойчивости энергосистем: Учебное пособие. / Хрущев Ю.В. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 176 с.
32. Готская И.Б. Аналитическая записка « Выбор системы дистанционного обучения» / Готская И.Б., Жучков В.М. Кораблев А.В. - РГПУ им.А.И Герцена.
33. Переходные процессы синхронной машины / Горев А.А. – Москва: Государственное энергетическое издательство, 1950. — 551 с.
34. Переходные процессы в электроэнергетических системах / Рюденберг Р. В. – Москва Изд-во иностранной литературы - 1955г. - 716 с.
35. Мелешкин Г.А. Устойчивость энергосистем. Теория: Монография / Мелешкин Г.А., Меркурьев Г.В. - СПб.: НОУ "Центр подготовки кадров энергетики", 2006. – 350 с.
36. Долженко О.В. Современные методы и технология обучения в техническом вузе: Метод. Пособие. / Долженко О.В., Шатуновский В.Л. – М. Высш.шк., 1990. – 191 с.:ил.
37. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М. : Изд-во стандартов., 1980.
38. Безопасность труда при работе на персональных компьютерах: метод. указ. к выполнению дипломного проекта / Л.А. Моссоулина – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. 28 с.: ил.
39. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы. – М.:Минздрав России, 1997.
40. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.

41. ГОСТ Р 50923-96 Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. – М.: Изд-во Госстандарта России, 1996.
42. «Производственная и экологическая безопасность»: Методические указания по разработке раздела выпускной квалификационной работы для студентов всех форм обучения / Гусельников В.Н. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 42 с.
43. Экология и безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие для вузов / Д.А. Кривошеин, Л.А. – М. ЮНИТИ-ДАНА, 200. - 447 с.
44. Экологические ограничения бытия общества / Олейников Ю. В. – Философия и общество. 2008. № 3 (51). С. 93–108.
45. Краева Н.В. Человек и среда: естественно - научный и гуманитарный аспект: Окружающая среда / Н.В.Краева, В.И.Макарова. – УДК 574.2 : Экология человека 2014.01 Северный государственный медицинский университет – г. Архагельск, 2014.
46. Основное противоречие техносферы / Попкова Н. В. – Философия и общество. 2005. № 3 (40). С. 121–136.
47. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / пер. с англ. ; общ. ред. В. И. Аршинова, Ю. Л. Климонтовича и Ю.В. Сачкова / Попкова Н. В. – М. : Прогресс, 1986. 432 с.
48. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003.
49. Безопасность жизнедеятельности: Учебник/ Под.ред.проф.– 10-е изд. И доп. / Арустамова Э.А. – М. Издательско-торговая корпорация «Дашков и К'», 2006. – 476 с.

50. Adaptation of the Moodle for application in distance education course at the state university of campinas / Garbin M.C., Amaral S.F., Mendes C.O., Ogasawara E. – *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 46 ( 2012 ) 2514 – 2518
51. An experience of e-assessment in an introductory course on computer organization / Gutierrez E.D., Trenas M.A., Corbera F., Ramo J., Romero S. – *Procedia Computer Science* 18 ( 2013 ) 1436 – 1445.
52. A multiple intelligences theory-based 3D virtual lab environment for digital systems teaching / Amorim T., Tapparo. L., Marranghello., Alexandre C.R. Silva., Aledir S. Pereira – *Procedia Computer Science* Volume 29, 2014, Pages 1413–1422.
53. E-learning in the evaluation of students and teachers: LMS or social networks? / Mozhaeva G., Feshchenko A., Kulikov I. – *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 152 ( 2014 ) 127 – 130.
54. E-learning Platforms in Higher Education. Case Study / D. Benta, G. Bologna, I. Dzitac – *Procedia Computer Science* 31 ( 2014 ) 1170 – 1176.
55. E-learning Security Vulnerabilities / Lumini C.C., Magdalena C.N.. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 46 ( 2012 ) 2297 – 2301.
56. Evaluation of the e-class platform of the LIS Dept., TEI of Athens / Zervos S., Kyriaki-Manessi D., Koulouris A. – *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 73 ( 2013 ) 727 – 735.
57. First Steps Towards a Visualization-Based Computer Science Hypertextbook as a Moodle Module / Rößling G., Vellarankalayil T. – *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* 224 (2009) 47–
58. The Moodle course management system and its e-learners' needs / Paragin S., Paragin F., Jipa A., Savu T., Dumitrescu A. – *Procedia Social and Behavioral Sciences* 15 (2011) 1226–1230.
59. The Internet and computer-mediated artefacts for foreign language learning and practice, and intercultural communication:

MOODLE, Second Life, and others / Uzun L. – Procedia - Social and Behavioral Sciences 46 ( 2012 ) 3296 – 3300.

60. Fix N. P. Creating teaching materials of a technical discipline for international students / Fix N. P. , Batseva N. L. , Kolesnikov S. V. , Sivitskaya L. A. , Smyshlyaeva L. G. – 3rd global conference on linguistics and foreign language teaching.

61. N. P. Fix. Using Electronic Courses in Teaching Master's Degree Students / Fix N. P. , Batseva N. L. , Kolesnikov S. V. , Sivitskaya L. A. , Smyshlyaeva L. G. – Procedia - Social and Behavioral Sciences 17 (2015) 262-266.