

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

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ А.А Ачитаев  
подпись, дата                      инициалы, фамилия  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

**ТРЕНАЖЁР ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА  
ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ. ВНЕДРЕНИЕ СЦЕНАРИЕВ ДЛЯ  
СТУДЕНТОВ СШФ СФУ НА ОСНОВЕ ТРЕНАЖЁРА МОДУС**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

Научный руководитель	_____	Инженер ОС Филиала ПАО "РусГидро" - "Саяно- Шушенская ГЭС <u>им. П.С.Непорожного</u> должность	<u>Ю.А. Мальцев</u> инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>А.А. Бернякович</u> инициалы, фамилия
Рецензент	_____	Начальник ОС Филиала ПАО "РусГидро" - "Саяно- Шушенская ГЭС <u>им. П.С.Непорожного</u> должность	<u>И.Ю. Погоняйченко</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролёр	_____		<u>А.А. Чабанова</u> инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2020

## АННОТАЦИЯ

В энергетике, являющейся частью мировой техногенной культуры, время от времени наблюдаются нештатные ситуации и крупные аварии, в том числе и по вине обслуживающего (оперативного) персонала. Задача руководящего персонала электрических станций, энергосистем и отрасли в целом, состоит в том, чтобы обеспечить надлежащую подготовку подчиненного ему оперативного персонала.

Для этого были изобретены тренажёрные комплексы, которые позволяют в «безопасном» режиме подготовить инженеров к нештатным ситуациям.

## АВТОРЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Тренажёр для оперативного персонала гидроэлектростанций. Внедрение сценариев для студентов СШФ СФУ на основе тренажёра МОДУС»

### **Цель работы:**

1. Произвести анализ существующих тренажёров по ведению оперативных переключений.
2. Разработка новых сценариев на тренажёре Модус для студентов Саяно-Шушенского Филиала СФУ, для улучшения навыков работы с переключениями.

### **Основные задачи:**

Провести анализ сравнительных характеристик передовых существующих тренажёров.

Выбрать оптимальный тренажёрный комплекса для оперативного персонала Гидроэлектростанций, а также рассмотреть возможность использования тренажёра для обучения студентов СШФ СФУ на специальность “Электроэнергетика и электротехника”.

Подготовить сценарий типовых переключений на электростанциях с использованием выбранного тренажёра.

### **Практическая значимость работы:**

Результаты работы помогут повысить уровень подготовки студентов для работы на производстве.

### **Личный вклад автора:**

Анализ, существующий тренажёров.

### **Апробация работы:**

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство Сборник научных статей по итогам седьмой международной научной конференции. 2019 г.
- EurasiaScience Сборник статей XXIX международной научно-практической конференции. 2020 г.

### **Публикации:**

Основные положения и выводы изложены в 2 публикациях в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень реализуемых научных изданий определённых РИНЦ, ISBN.

### **Структура и объём диссертации:**

Диссертация состоит из введения, количества глав, заключения и списка литературы из и наименований. Материал изложен на 41 страницах, содержит 12 рисунков и 4 таблицы.

**Ключевые слова:** Оперативный персонал, Гидроэлектростанции, обучение, тренажёр, студент, институт.

## ABSTRACT

Graduate qualification work on the topic "Simulator for operational personnel of hydroelectric power plants. Implementation of scenarios for SHF SFU students based on the MODUS simulator".

### **Purpose of work:**

1. To analyze the existing tap-change operations simulators.
2. Development of new scenarios on the simulator Modus for students of Sayano-Shushensky branch of SFU, for improvement of skills of work with switching.

### **The main tasks:**

To carry out the analysis of comparative characteristics of advanced existing simulators.

To choose the optimal simulator complex for operational personnel of Hydroelectric Power Plants, as well as to consider the possibility of using the simulator for training SFU students for the specialty "Electric Power Engineering and Electrical Engineering".

To prepare a scenario of typical switching operations at power plants using the selected simulator.

### **Practical importance of the work:**

The results of the work will help to improve the level of students' training for work at the workplace.

### **Personal contribution of the author:**

Analysis, existing simulators.

### **Approbation of the work:**

The results of the dissertation work were presented and discussed at the following conferences:

- Advanced innovative developments. Prospects and experience of use, problems of introduction in manufacture Collection of scientific articles following the results of the seventh international scientific conference. 2019 г.
- Collection of articles of the XXIX International Scientific and Practical Conference. 2020 г.

### **Publications:**

The main provisions and conclusions are stated in 2 publications in scientific journals and publications, which are included in the list of realized scientific publications of certain RINC, ISBN.

### **Structure and volume of the dissertation:**

The dissertation consists of an introduction, number of chapters, conclusion and a list of literature from and titles. The material is presented on 41 pages, contains 12 figures and 4 tables.

**Key words:** Operational personnel, Hydroelectric power stations, training, simulator, student, institute.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	6
1 Общие понятия о тренажёрных системах .....	7
1.1 Автоматизированная тренажёрно-обучающая система .....	7
1.2 Человеческий фактор и надёжность электроэнергетики.....	9
1.3 Методика построения системы оперативных (тренажёрных) логико- динамических моделей оборудования и процессов энергетических объектов .....	14
1.3.1 Основные принципы и подходы к моделированию энергообъекта Ручное управление в человеко-машинной системе .....	14
1.3.2 Методология имитационного моделирования энергетических объектов .....	18
2 Анализ передовых существующих тренажёров .....	21
3 Выбор оптимального комплекса для студентов СШФ СФУ .....	29
4 Сценарий для студентов СШФ СФУ на основе тренажёрного комплекса МОДУС .....	34
Заключение.....	37
Список использованных источников .....	38
Приложение А Главная схема Энской ГЭС в тренажёре МОДУС .....	39
Приложение Б Зал 220кВ в тренажёре МОДУС .....	40
Приложение В Центральный Пульт Управления в тренажёре МОДУС.....	41

## **ВВЕДЕНИЕ**

Жизнеобеспечение человеческого сообщества в наше время в значительной степени зависит от поставок в места человеческого обитания топлива и электроэнергии. И если учесть факт взаимозависимости этих поставок, то массовые обесточивания по своим последствиям могут быть привязаны к природным катаклизмам, угрожающим национальным экономикам и существованию миллионов людей.

# **1 Общие понятия о тренажёрных системах**

## **1.1 Автоматизированная тренажёрно-обучающая система**

Автоматизированная тренажёрно-обучающая система (тренажер – автоматизированный аппаратно-программный функционально ориентированный комплекс для обучения человека и отработки определенных навыков и умений).

Тренажеры в современном понимании появились, когда возникла необходимость массовой подготовки специалистов для работы либо на однотипном оборудовании, либо со схожими рабочими действиями, а также для военных нужд. В последнее время, в связи с быстрой компьютеризацией мирового сообщества, с созданием сложнейшей техники, эксплуатация которой связана с риском для жизни не только одного человека, но и человечества в целом, возникла целая индустрия – тренажерные технологии.

Тренажерные технологии – это сложные комплексы, системы моделирования и симуляции, компьютерные программы и физические модели, специальные методики, создаваемые для того, чтобы подготовить личность к принятию качественных и быстрых решений.

В современных тренажерах и в программах подготовки и обучения, на них основанных, закладываются принципы развития практических навыков с одновременной теоретической подготовкой. Реализация такого подхода стала возможна в связи с бурным развитием и удешевлением электронно-вычислительной техники и прогрессом в области создания виртуальной реальности. На базе этих технологий разработаны многочисленные тренажеры для военного применения, позволяющие имитировать боевые действия с высочайшей детальностью в реальном времени, создано множество приложений технологии виртуальной реальности для медицины, позволяющих проводить операции электронному пациенту с высокой степенью достоверности и многое другое, при этом области применения тренажерных технологий постоянно расширяются.

Тренажерные технологии возникли и получили наибольшее развитие там, где ошибки при обучении на реальных объектах могут привести к чрезвычайным последствиям, а их устранение – к большим финансовым затратам: в военном деле, медицине, ликвидации последствий стихийных бедствий, в атомной энергетике, авиации и космосе.

В общем случае тренажер представляет собой программно-аппаратный комплекс, имеющий структуру, представленную на рисунке 1.

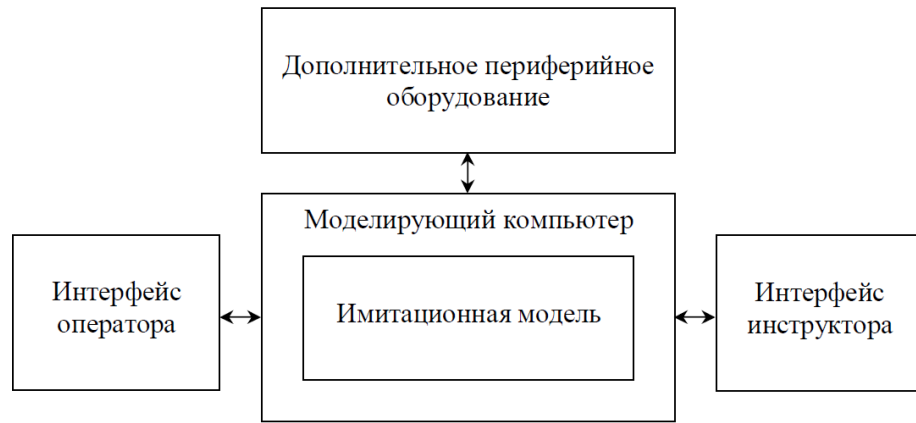


Рисунок 1 – Структура программно-аппаратного комплекса

Определим некоторые понятия, применяемые при анализе автоматизированных тренажерно-обучающих комплексов (тренажеров).

### ***Моделирующий компьютер***

Моделирующий компьютер может быть столь же прост, как персональный компьютер, или таким сложным, как многопроцессорный сверхсовременный мини-компьютер. Компьютер моделирования связан с интерфейсом оператора через систему ввода-вывода. Интерфейс оператора может состоять как из панелей управления и контроля, так и видеотерминалов и распределенной системы управления, обслуживающей видеотерминалы. В большинстве случаев физические свойства интерфейса оператора точно или в максимально приближенной степени соответствуют конкретному моделируемому процессу.

### ***Имитационная модель***

Программные модели, используемые в имитационном компьютере, реалистично отображают взаимодействие компонентов и систем моделируемого процесса. Это наиболее важная часть тренажерной системы, от степени приближенности имитационной модели к реальному объекту или ситуации зависит качество получаемых навыков.

### ***Интерфейс оператора***

Интерфейс оператора позволяет обучающемуся манипулировать органами управления способом, приближенным или идентичным используемому в реальном процессе. Динамический отклик тренажера должен быть максимально приближен к отклику систем и компонентов реального объекта.

### ***Интерфейс инструктора***

Интерфейс инструктора позволяет управлять работой тренажера, выбирать сценарий тренировки и начальное состояние имитируемого процесса,



вводя сбои моделируемого процесса или его компонентов либо изменяя внешние факторы. Часть функций инструктора может автоматически выполнять и сама имитационная модель.

### *Дополнительное периферийное оборудование*

Периферийное оборудование включает в себя принтеры, панели аварийной сигнализации и любое другое оборудование, необходимое для повышения реалистичности моделируемой окружающей обстановки или документирования процесса тренировки.

Тренажеры могут объединяться между собой в сеть для отработки навыков взаимодействия нескольких лиц. При этом может использоваться общий моделирующий компьютер с несколькими интерфейсами операторов или отдельные моделирующие компьютеры с согласующим устройством между ними.

Отдельно следует отметить класс тренажеров, не использующих специальную аппаратную интерфейсную часть. Это чисто компьютерные тренажеры (далее «компьютерные тренажеры»). Роль интерфейса в них выполняют стандартные устройства ввода-вывода компьютера: клавиатура, мышь, монитор. Использование таких тренажеров целесообразно в случаях, когда в моделируемых объектах и ситуациях нет необходимости в использовании специального оборудования. Примером может быть тренажеры по принятию решений и выработки навыков поведения, не связанные напрямую с управлением какими-то устройствами.

## **1.2 Человеческий фактор и надёжность электроэнергетики**

Современная проблема взаимоотношения человека и техники, заключающаяся в основном противоречии между все усложняющейся техникой и неизменными с древности свойствами, и возможностями человека, приводит к значительному увеличению влияния «человеческого фактора» на общую надежность человеко-машинных систем. Сегодня «человеческий фактор» в человеко-машинных системах является одной из самых главных, основополагающих проблем нового века, решению которой посвящены многочисленные разработки, направленные на качественное улучшение пропорций во взаимодействии «человек-машина» в сторону человека, путем его специальной подготовки (тренажа).

Другая, еще более глобализированная проблема состоит в том, что не только устойчивое развитие, но и само жизнеобеспечение человеческого общества в наше время в значительной степени зависит от поставок в места человеческого обитания топлива и электроэнергии. И если учесть акт взаимозависимости этих поставок, то массовые обесточения по своим последствиям могут быть приравнены к природным катаклизмам, угрожающим национальным экономикам и существованию миллионов людей.

Таким образом, фактор надежности электроэнергетики, то есть независимых субъектов рынка электроэнергии, приобретает приоритетное значение, особенно в современных российских условиях искусственного разделения на части единого технологического и единого временного процесса генерации, передачи и потребления электрической энергии.

Угрозы штатному функционированию энергообъекта, рассматриваемого как распределенная эргатическая (человеко-машинная) система, могут исходить от следующих дестабилизирующих факторов:

– Техногенных (искусственных) дестабилизирующих факторов, а именно: отказы арматуры, отказы механизмов, разрывы трубопроводов, резервуаров воды, мазута, газопроводов, взрывы или пожары на технологическом оборудовании и т. д., и т. п.

– Природных (естественных) дестабилизирующих факторов, а именно:

- изменения воздействий внешней среды (качества топлива; температуры: наружного воздуха, охлаждающей воды; качества исходной воды и т. п.);

- природных катаклизмов (гололед, ураган, наводнение, пожар, землетрясение и т. п.).

– Антропогенных дестабилизирующих факторов (т. н. человеческий фактор), а именно:

- непрофессиональных действий специалистов по проектированию, изготовлению, монтажу, обслуживанию и ремонту технологического оборудования, АСУТП, тренажерных систем;

- террористических дестабилизирующих факторов.

По словам президента РФ Путина В. В.: «Ежегодно на ликвидацию последствий различного рода аварий и катастроф расходуется в России от 1,5 до 3% ВВП, а мировой ежегодный ущерб составляет около 150 млрд. долл. Доля техногенных катастроф в сумме чрезвычайных ситуаций в РФ уже превышает 70 процентов. Причем для предотвращения угроз аварий и катастроф необходимо рассматривать не только технологический и управленческий аспекты, но и человеческий фактор. Жизнь показывает, что большинство аварий происходит по вине человека» [1].

По данным Ростехнадзора [2] причины аварий на опасных производственных объектах (ОПО) (процент от общего количества аварий) следующие:

- несовершенство технологий — 13%;
- низкий уровень знаний — 11%;
- умышленное отключение защиты — 2%;
- нарушение производственной дисциплины — 15%;
- неэффективность производственного контроля — 13%;
- неправильная организация работ — 13%;
- нарушение технологий — 17%;
- неудовлетворительное состояние оборудования, зданий и сооружений — 16%;

Таким образом, аварийность на опасных производственных объектах (в том числе на электростанциях и сетевых предприятиях) в более чем 70% случаев определяется так называемым «человеческим фактором».

Указанное состояние аварийности обусловлено ростом сложности управления и напряженности работы персонала, значительным объемом физически и морально устаревшего оборудования, поступлением топлива, пониженного или сильно меняющегося качества, недостаточной квалификацией персонала и нарушением правил производства оперативных переключений. Это «внешние» причины.

Анализ аварий по вине оперативного персонала позволяет назвать основные «внутренние» причины аварийности:

- отсутствие проверки профпригодности с учетом психофизиологических особенностей человека при отборе кандидатов в операторы;
- недостаточная теоретическая подготовка, вызванная разобщенностью изучаемых будущим оператором материалов;
- отсутствие систематизированных знаний о режимах работы оборудования и методах управления ими;
- недостаточный опыт управления как отдельными процессами, так и объектом в целом (оператор в период обучения не получает комплекса знаний, необходимых для успешного выполнения своих обязанностей);
- отсутствие навыков оперативного мышления, т. е. навыков построения причинно-следственных связей между показаниями приборов, а также информацией, отраженной на мнемосхеме или компьютере и ходом технологических процессов;
- отсутствие навыков предсказания аварийных ситуаций;
- повышенная утомляемость, вызываемая нерациональным построением щита управления или интерфейса АСУ, недостаточной связью с обходчиками, излишней напряженностью, связанной с неумением оператора анализировать и прогнозировать ситуации.

Количество технологических нарушений по вине персонала в зависимости от численности неподготовленного персонала (т. е. не прошедшего обучение на курсах и тренажерах) по округам РФ приведены на рисунке 2.

Анализ рисунка 2 позволяет сделать очевидный, но, тем не менее, необходимый вывод: чем больше персонала не охвачено обучением (подготовкой, тренажем), тем больше аварийность по вине персонала. Зависимость однозначно коррелирует аварийность почти по всем округам РФ, отсюда очевидно следует, что аварии допускает именно необученный персонал электрических станций и сетей.

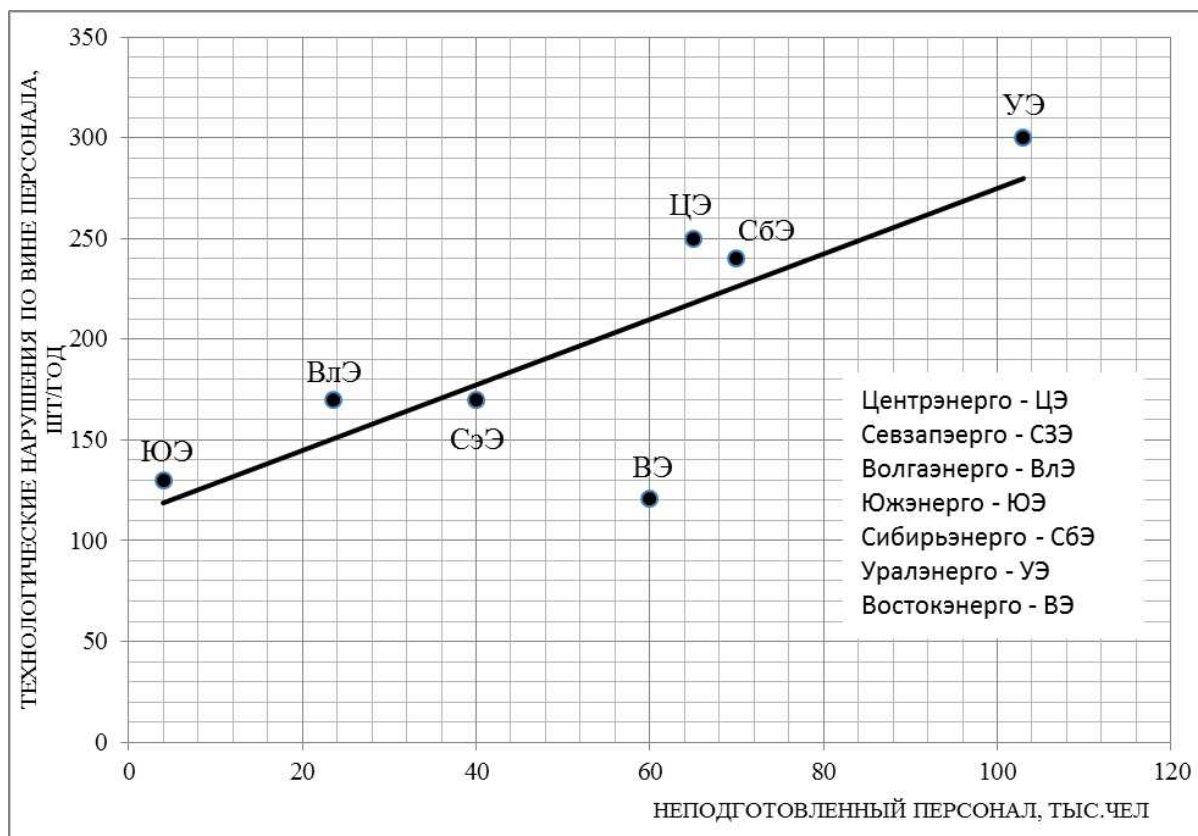


Рисунок 2 – Статистика аварий по вине неподготовленного персонала на 2017г.

Современное эффективное управление развитием человеческого потенциала с целью увеличения безопасности производства работ в промышленности, в том числе и в электроэнергетике невозможно без широкомасштабного применения информационных технологий (IT - технологий).

По данным Минтруда, в России только 5% работников обладает высоким уровнем квалификации, тогда как в США — 43%, а в Германии — 56% [3].

Одной из главных причин отставания современной системы поддержания и развития человеческого потенциала российской электроэнергетики от мирового уровня является тот факт, что состояние и возможности этой системы в начале XXI века уже не соответствует реалиям и тенденциям формирования системы развития человеческого потенциала в мировой электроэнергетике, ориентированной на все более широкое использование наукоемких технологий, информационных ресурсов общества, последних достижений в области информатики и электроники, а также компьютерных технологий информационно-телекоммуникационных систем.

И если считать, как и выше, указанные причины «внешними», то к «внутренним» — организационным причинам, по нашему мнению, следует отнести то, что:

- электрические станции и сети слабо оснащены современными техническими средствами обучения и тренажа персонала;

- нет утвержденных обязательных норм оснащения предприятий энергетики тренажерами и компьютерными средствами обучения и, как следствие, финансирование на эти цели выделяется по остаточному принципу;
- отсутствует научно обоснованная методика экономической оценки эффективности обучения оперативного персонала;
- не установлен контроль за техническими и программными средствами обучения и тренажа персонала на соответствие регламентам и стандартам РФ.
- отсутствует отраслевая система сертификации технических средств обучения персонала, соответствующая современному законодательству.

Система специальной подготовки (тренажа) означает, прежде всего, поддержание у человека при всех условиях производственной деятельности высокой готовности к действию. Степень готовности к действию – важнейший показатель надёжности человека как звена системы управления, так как она определяет эффективность и современность управления процессом в штатных ситуациях. Вместе с тем, наиболее сложной и ответственной функцией деятельности человека является управление оборудованием в случае резких изменений режимов, приводящих к аварийному состоянию. В этом случае человек-оператор должен принимать ответственные решения, как правило, в условиях неполной информированности, неопределённости и дефицита времени.

Анализ инцидентов с ошибками персонала показывает, что наибольшее количество ошибочных действий совершается во время аварийных ситуаций, при пусках, остановах, при производстве плановых переключений и других воздействий на органы управления оборудованием. Частота ошибочных действий персонала зависит от его обученности навыкам управления оборудованием и готовности к парированию аварийных ситуаций. Если навыкам проведения типовых и штатных переключений, с известными ограничениями, можно обучиться на реальном работающем оборудовании, то навыкам ликвидации нештатных и аварийных ситуаций невозможно обучиться без применения современных тренажеров, разработанных на базе информационных технологий.

Таким образом, развитие и закрепление способностей человека-оператора работать с высокой степенью готовности достигается целенаправленным обучением на тренажерах в штатных режимах, а также в условиях предаварийных и аварийных ситуаций, максимально приближенных к реальным.

## **1.3 Методика построения системы оперативных (тренажёрных) логико-динамических моделей оборудования и процессов энергетических объектов**

### **1.3.1 Основные принципы и подходы к моделированию энергообъекта Ручное управление в человеко-машинной системе**

Процесс создания моделей энергообъектов базируется на двух широко распространенных подходах к построению моделей систем. Первый - классический подход, основанный на раскрытии явлений, происходящих внутри рассматриваемой системы. При этом проводится внутреннее описание системы, излагающее взаимодействие составляющих ее элементов и внутреннее состояние. Такой подход служит логической основой обычного физического и математического моделирования на физическом и математическом подобии внутренних процессов. Второй подход, характерный для методологии кибернетики, позволяет анализировать систему как некоторый «черный ящик» с доступными для наблюдения только входными и выходными переменными. Он сводит изучение системы к наблюдению за ее реакцией при известных воздействиях, поступающих на вход, т. е. независимых от ее внутреннего состояния. Модель системы строится как ее описание в виде преобразователя (оператора) входных переменных в выходные, т. е. как внешнее описание, абстрагирующееся от механизма внутренних процессов [4].

Современные энергообъекты, рассматриваемые как объект моделирования, в большинстве своем нестационарны, нелинейны, многомерны, со многими внутренними обратными связями, невелика или отсутствует априорная информация о форме и степени взаимосвязи между переменными в динамике в реальных условиях эксплуатации. Это значительно усложняет получение их адекватного математического описания. Использование разработчиком модели для этой цели априорной информации, которая имеется, например, в распоряжении конструктора (физические, химические, механические закономерности, нормативные документы и др.) в большинстве случаев вызывает затруднения. Это можно объяснить следующими причинами:

- закономерности (уравнения кинетики, тепломассообмена, материального баланса и пр.) при эксплуатации энергообъекта значительно искажаются, т. е. изменяется форма и степень связи между переменными из-за изменения масштабов процесса, влияния помех, шумов различного рода, отклонения от идеальных условий;

- математическая модель должна включать одновременное влияние на выходную переменную всех входных параметров. Однако это уравнение не может быть получено из уравнений зависимостей выходной переменной от каждой из входных параметров, тем более что для реальных тепловых процессов все переменные по своей природе стохастические.

Эти и другие причины значительно усложняют построение моделей энергообъекта. Естественно, что в таких условиях использование всей априорной информации практического изучения реальных процессов

значительно ускоряет процесс получения модели. Результаты промышленных экспериментов, проводимых при испытаниях теплотехнического оборудования наладочными и другими организациями, оказываются определяющими при решении задачи выбора структуры модели, оценки параметров, стационарности, линейности, выбора информативных переменных, оценки степени адекватности модели реальному объекту и т. д.

Существует много способов определения модели технологических процессов. Каждый способ дает возможность построить модель, адекватную процессу в том или ином смысле, что зависит от выбранного критерия. Таким образом, применяя множество способов, можно получить множество моделей, гомоморфных физическому объекту. Это означает, что существует некое абстрактное соответствие между множеством моделей и моделируемым объектом. Выбор структуры модели, критерия ее адекватности процессу и другие параметры модели необходимо тесным образом увязать с целью моделирования процесса, с задачей, стоящей перед исследователем при разработке модели. Модель энергообъекта, разрабатываемая для тренажера, т. е. для использования ее в системе «человек-машина» должна прежде всего отвечать целям восприятия человеком-оператором информационной модели объекта управления, анализа информации и принятия решений, а также формирования и совершенствования у операторов профессиональных навыков умений. В результате конкретная модель объекта должна являться таким отображением процесса, которое позволяет выделить наиболее существенные его свойства для поставленной задачи. Основные цели моделирования энергообъекта, а именно, организация восприятия и анализа оператором информационной модели, а также управление ею позволяют рассматривать синтез необходимой модели в рамках структур и методов, применяемых теорией управления с учетом упрощений, характерных для фильтрующих свойств человека-оператора. Следует отметить, что такая модель, синтезированная специально для потребностей обучения, может и не отражать внутренних механизмов явления, ей достаточно лишь констатировать наличие конкретной формальной связи между входом и выходом объекта. Характер и особенности этой связи и составляют основу модели, получаемой в процессе идентификации объекта управления.

Специфика такой модели определяется особенностями восприятия человека-оператора, рассматриваемого как звено в системе «человек-машина», а также характеристиками технологического прототипа и разрешающими способностями применяемой для реализации модели вычислительной техники. На рисунке 3 показана общая схема «ручного» управления в человеко-машинной системе. Под «ручным» управлением здесь понимается такое целенаправленное воздействие человека-оператора на объект, в результате которого объект оказывается в определенном смысле «ближе» к выполнению поставленных целей, чем до управления. На объект управления в общем случае действуют:

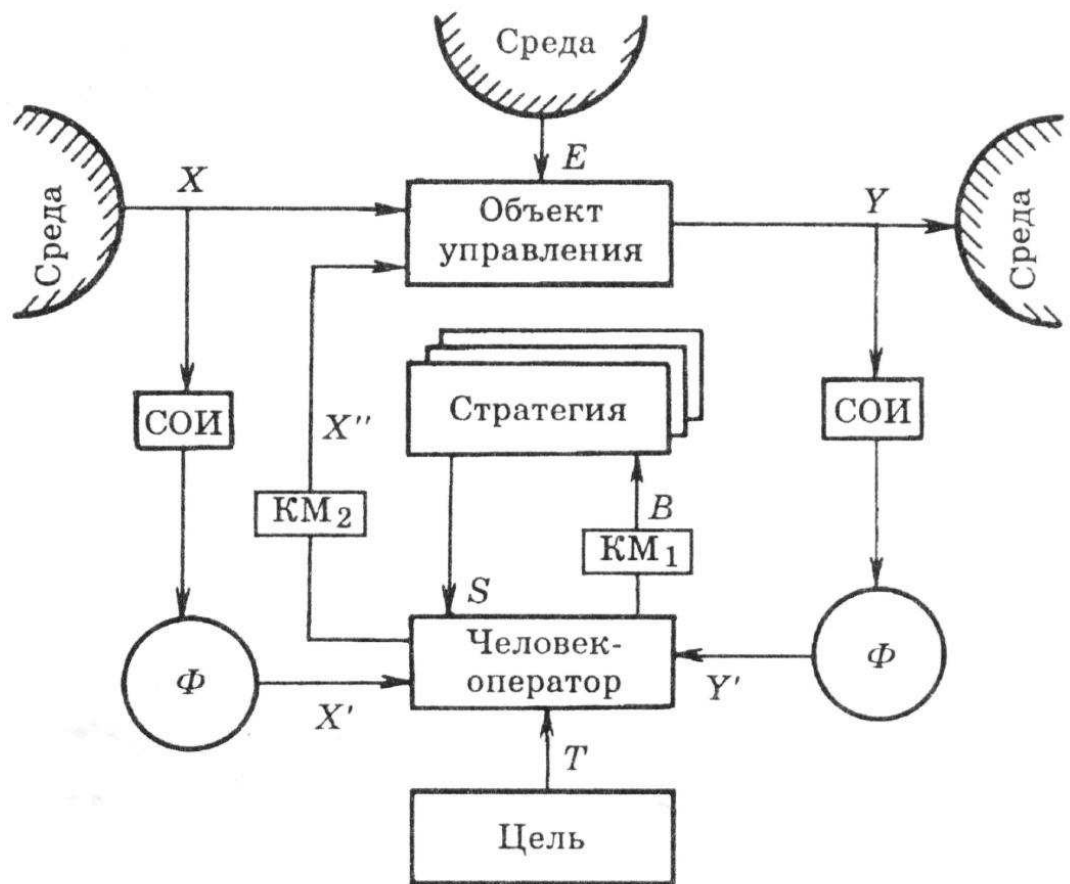


Рисунок 3 - Общая схема «ручного» управления в человеко-машинной системе

$X$  — неуправляемая, но контролируемая через систему отображения информации (СОИ), составляющая воздействия среды;  $X''$  — управляемая составляющая (управление объектом воспринимается так же, как воздействие среды);  $E$  — неуправляемая и ненаблюдаемая составляющая воздействия среды;  $Y$  — состояние объекта управления;  $X'$  и  $Y'$  — информация соответственно о неуправляемых (но наблюдаемых) воздействиях среды и состоянии объекта управления, получаемая человеком-оператором с учетом отображения ее в СОИ, а также с учетом его собственных фильтрующих свойств ( $\Phi$ ). Естественно, что эта информация составляет лишь часть, содержащуюся в  $X$  и  $Y$ , т. е.  $X' \subset X$  и  $Y' \subset Y$ .

Для осуществления управления необходимо прежде всего определить цель ( $T$ ), т. е. то, к чему должен стремиться человек-оператор при воздействии на объект. Целевая функция человеко-машинной системы управления, например котельной установки, обычно регламентируется и состоит в обеспечении заданной паропроизводительности котла с минимальными отклонениями от расчетных параметров пара при минимуме удельных расходов топлива и электроэнергии на тонну пара и при минимальных отклонениях от критериев, обеспечивающих надежную работу оборудования. Однако для



достижения указанной цели необходим выбор (В) наиболее целесообразной стратегии управления (S) и ее реализация с помощью имеющихся органов управления и исполнительных механизмов. Таким образом, управление характеризуется взаимоотношением четырех элементов:

$$\langle X'', I = \langle X'', Y' \rangle, S, T \rangle \quad (1)$$

где  $X''$  — управляющее воздействие;

$I = \langle X'', Y' \rangle$  — информация о состоянии среды и объекта;

S — стратегия;

T — цель управления.

Цель управления T определяет требования, выполнение которых обеспечивается человеком-оператором, управляющим воздействием  $X''$  с помощью стратегии S и сбором информации по каналам  $X - X'$  и  $Y - Y'$ . Однако если у человека-оператора не сформирована концептуальная модель (KM) технологического процесса  $Y'(Y) = F [X'(X), X'']$ , т. е. он не знает как  $X'(X)$  и  $X''$  влияют на состояние объекта  $Y'(Y)$ , то не сможет подобрать стратегию S и определить управляющее воздействие  $X''$ . Причем, в реальных условиях эксплуатации концептуальная технологическая модель складывается у оператора-технолога последовательно — сначала из KM1 — выработки тактики управления на основании оценки производственной ситуации по неполной оперативной информации I, необходимой для выбора наиболее целесообразной стратегии S, а затем из KM2 — выработки частной концептуальной модели планируемого развития технологического процесса при данном управляющем воздействии на объект  $X''$ .

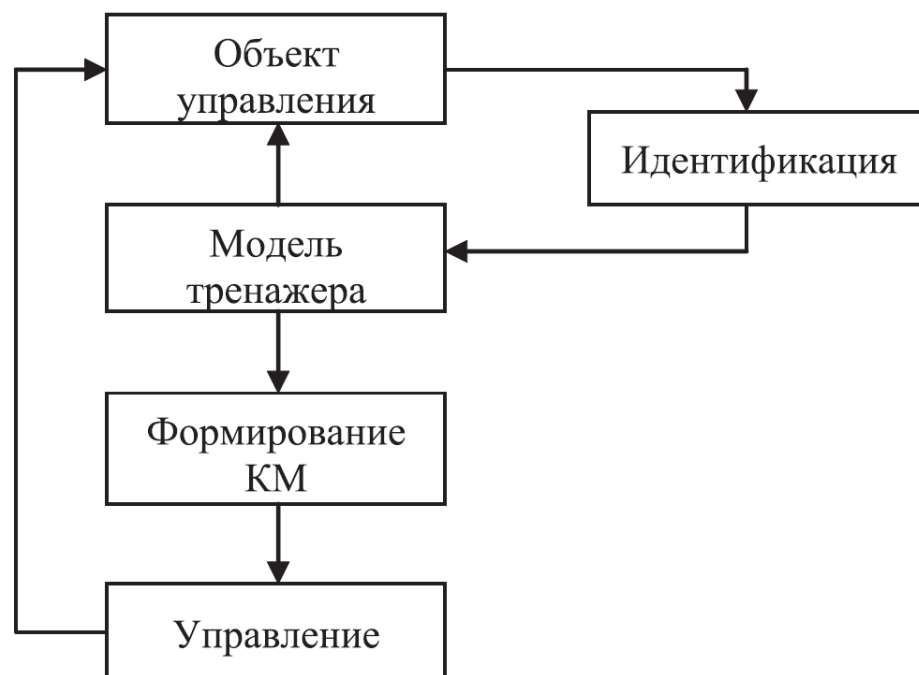


Рисунок 4 - Блок-схема управления с помощью тренажера

В обычных условиях формирование концептуальной технологической модели достигается у человека-оператора за счет длительного дублирования на рабочем месте, а также методом «проб и ошибок», что приводит зачастую к известным нежелательным последствиям. При обучении человека-оператора на тренажере концептуальная модель формируется целенаправленно на достаточно адекватной модели прототипа, а затем уже процесс управления переносится на реальный объект. Таким образом, процесс управления с помощью тренажера должен состоять в общем виде из трех этапов (рисунок 4):

- синтез (идентификация и реализация) адекватной модели объекта для тренажера;
- формирование КМ технологического процесса у человека-оператора на тренажере;
- синтез управления на основе полученной КМ на реальном объекте.

### **1.3.2 Методология имитационного моделирования энергетических объектов**

Главные трудности при создании тренажеров, то есть при разработке математических моделей энергооборудования и процессов обуславливаются основным противоречием моделирования технологических объектов для тренажеров, а именно, противоречием между необходимостью учета действия большого количества факторов, определяющих процессы, протекающие в сложных технологических системах, и необходимостью быстрого получения надежных результатов, т.е. работы тренажера в реальном и ускоренном масштабе времени. Выполнение этих противоречивых условий возможно было только на основе разработки новых методов и алгоритмов, ориентированных на решение задач высокой и сверхвысокой размерности, уровень сложности которых должен определяться физиологическими возможностями восприятия среды человеком-оператором.

Анализ методов и алгоритмов для решения задач моделирования показал, что процедура решения включает не только собственно алгоритм, позволяющий получить интересующие разработчика переменные (модель, реализуемую с помощью аналоговой или цифровой техники), но и алгоритм построения модели, т. е. алгоритм по имеющейся информации о системе, формирующий или назначающий собственно алгоритм моделирования. Именно алгоритм построения и определяет эффективность реализуемой модели.

С данной точки зрения алгоритм моделирования можно разбить на две основные части:

- алгоритм построения модели;
- алгоритм решения задачи, т. е. модель, которая впоследствии должна быть представлена в виде программы.

Если для реализации второй части алгоритма моделирования существовали формальные процедуры, то первая часть выполнялась,

преимущественно исходя из интуитивных и эвристических соображений с последующей опытной проверкой. Была предпринята попытка формализовать процедуру моделирования, рассматриваемую как оптимизационная задача, где минимизируется стоимость решения задачи моделирования при известных (или назначенных):

- моделируемой системе (оригинале);
- цели моделирования;
- ограничениях на качество решения.

Оптимизируемыми считались параметры модели в широком смысле, т.е. структура логических связей между отдельными блоками модели, уровень детализации моделируемых функций, исходя из психофизиологических свойств человека-оператора, тип блоков и их количество и т. д. Действовавший в СССР ГОСТ 20921-75 требовал подобия учебно-информационной модели тренажера информационной модели в системе «человек-машина», не выдвигая количественных требований к статической и динамической адекватности модели объекту моделирования.

Степень подобия согласно ГОСТ необходимо устанавливать, исходя из специфических особенностей конкретной информационной модели и технико-экономической целесообразности. Тем не менее, ГОСТ 20921-75 требовал обязательного воспроизведения потока информации, предъявляемого обучаемым в реальном масштабе времени, а также, при необходимости, иметь возможность регулирования масштаба времени.

Анализ указанных положений, а также опыт разработки математических моделей для тренажеров позволили авторам предложить подход к упрощению моделирования объектов управления для тренажеров, основанный на учете объективных свойств как моделируемого оборудования, так и обслуживающего его человека-оператора. Анализ современного теплотехнического оборудования и его математических моделей показывает, что в большинстве случаев можно применить линеаризацию разрабатываемых для тренажера моделей относительно идентифицируемых параметров, что в свою очередь дает возможность разделить нелинейность и динамику объекта. Научно обоснованный анализ психофизиологической чувствительности человека-оператора, заключающийся в допустимости достаточно больших отклонений временных характеристик при моделировании технологических процессов, позволяет применять качественный подход к моделированию динамики процессов для тренажера. С целью разработки моделей энергообъекта, удовлетворяющих приведенным положениям, был предложен следующий подход:

- для упрощения математических моделей разделяются функции статического и динамического моделирования;
- статическое моделирование осуществляется в основном посредством решения нелинейных алгебраических и трансцендентных уравнений с высокой степенью точности;

- для моделирования динамики используется динамическая модель, полученная предварительным расчетом динамических характеристик на ЭВМ и упрощенная в пределах неразличимости этих упрощений человеком-оператором;

- образованная таким образом непрерывная нелинейная динамическая система управляется дискретной логикой, определяемой закодированной информацией о состоянии технологической схемы.

Предложен подход к построению всережимной модели реального времени, состоящий в разделении функций статического и динамического моделирования с направленной асимметрией точности разделенных функций (моделирование осуществляется с помощью точного нелинейного статического и упрощенного динамического преобразований входных управляющих и возмущающих воздействий).

## 2 Анализ передовых существующих тренажёров

В настоящее время разработан ряд различных тренажёров, каждый из которых предназначен для решения определённых задач, требует специальных технических и программных средств, как правило, распространяется на коммерческой основе. Рассмотрим некоторые из них:

### *Компьютерный тренажёрный комплекс МОДУС*

Компания МОДУС активно занимается разработкой программного обеспечения для оперативно-диспетчерских служб предприятий электроэнергетики с 1994г. За это время компания выпустила линейку программных продуктов и завоевала признание большого количества пользователей.

В настоящее время разработки хорошо известны во всех крупных энергосистемах России, в СО, ФСК ЕЭС, ОДУ, РДУ, МЭС МРСК. Среди заказчиков компании Модус многие ПЭС и энергоёмкие предприятия, центры подготовки кадров, компании-разработчики программного обеспечения для энергетики и системные интеграторы.

Тренажер по оперативным переключениям Модус предназначен для моделирования энергетических объектов любого уровня. Это означает, что с использованием одной и той же программной оболочки тренажера и набора средств подготовки данных можно реализовать модель любого энергообъекта. Отличительной особенностью тренажера Модус является то, что он позволяет создавать максимально реалистичные макеты энергообъектов. Тренажер позволяет тренировать персонал на макетах собственных энергообъектов (рисунки 5-7).

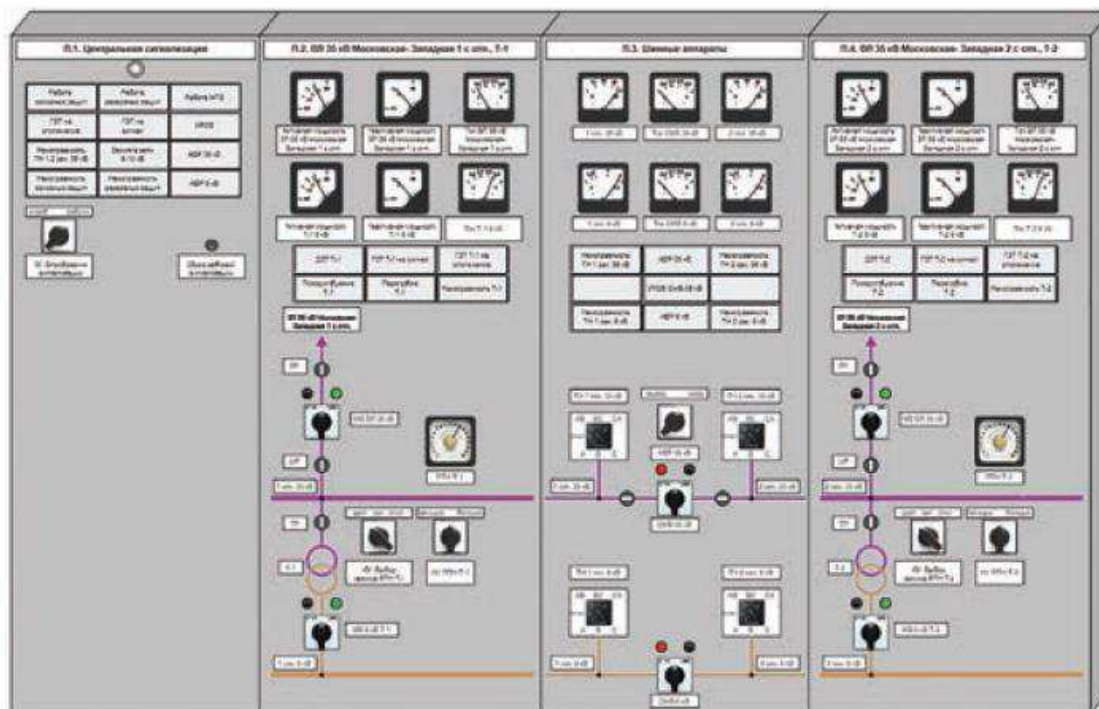


Рисунок 5 - Щит управления

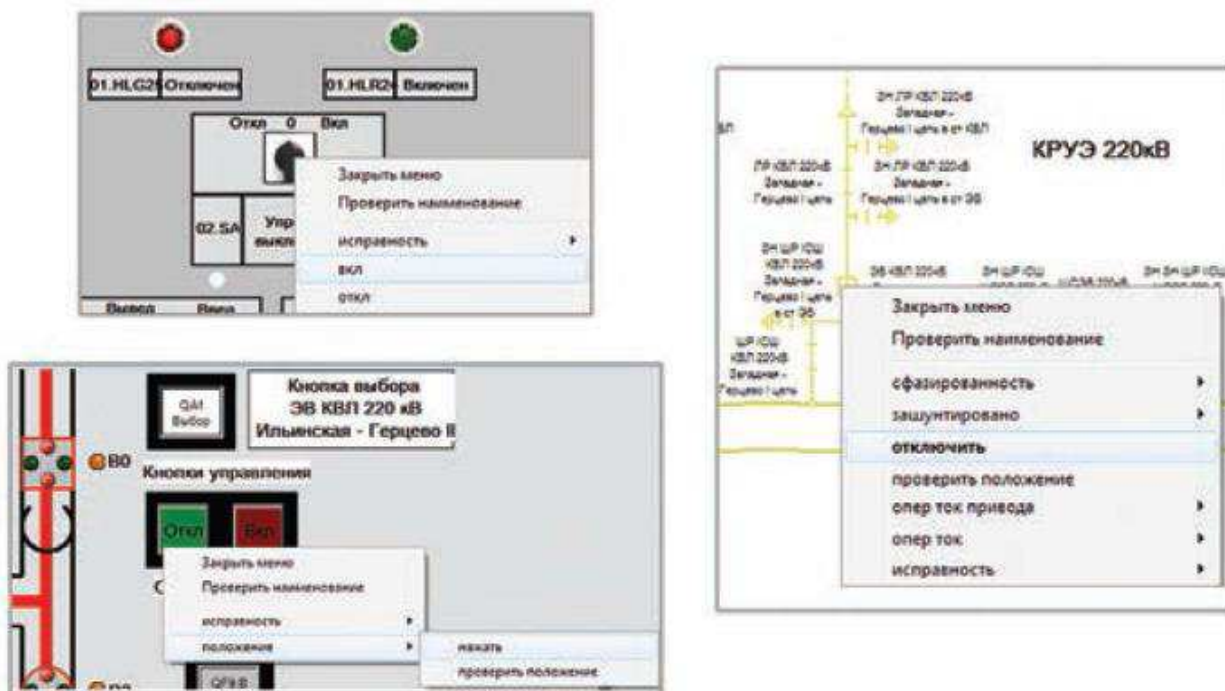


Рисунок 6 - Способы переключения коммутационных аппаратов

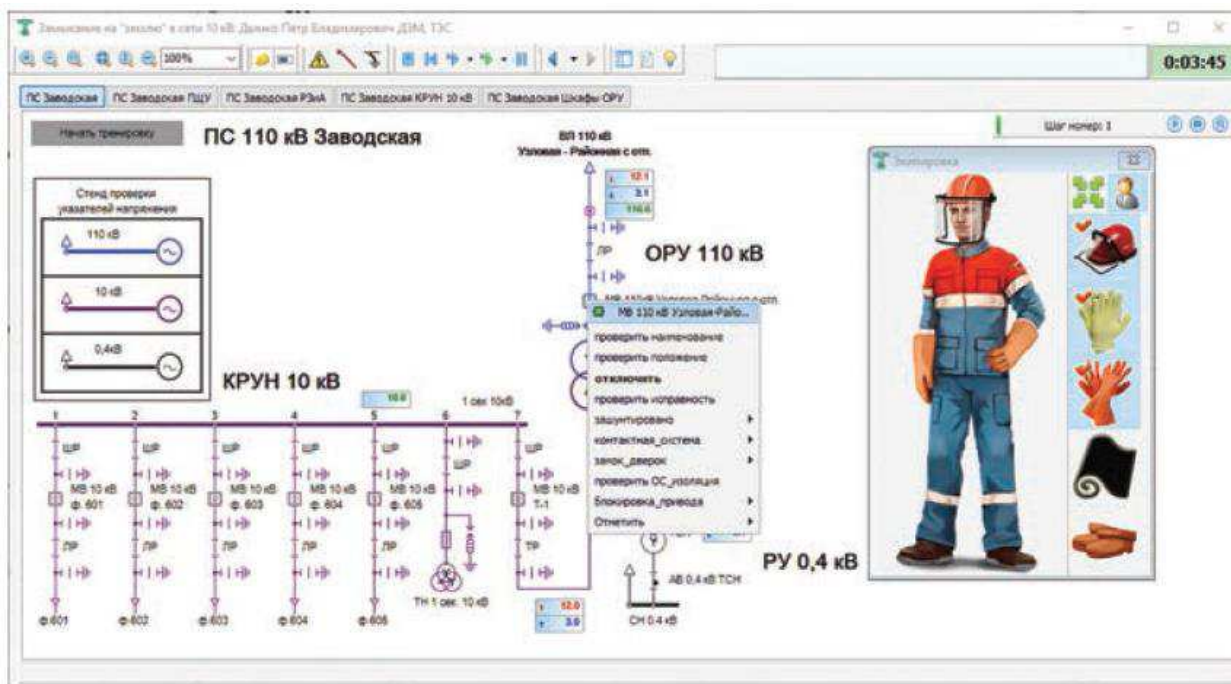


Рисунок 7 - Выполнение операций на схеме

Тренажер по оперативным переключениям для предприятий электроэнергетики состоит условно из трех частей:

- ПО Модус «Оболочка» тренажер
- Макет разрабатываемого энергообъекта
- Список упражнений для выполнения тренировки

При создании пакета тренировок основной объем работы заключается в создании адекватного макета энергообъекта в графическом редакторе и

аниматоре. При подготовке макета должна быть создана модель схемы первичных присоединений энергообъекта, панелей щита управления и защит и др.

Для подготовки макета энергообъекта требуется собрать исходные данные:

- Нормальная схема энергообъекта;
- Фотографии панелей управления, защит и автоматики, ячеек 6-10кВ.
- Карта уставок защит;
- Журнал нормального положения органов управления защитами;
- Фотографии высоковольтного оборудования;
- Виды экранов АРМ
- Типовые бланки переключений.
- Дополнительная информация (по необходимости)

Для обеспечения адекватного поведения макета энергообъекта, необходима настройка данных следующих моделей:

- Коммутационная модель
- Контроля и управления
- Релейной защиты и автоматики
- Блокировок

Важной особенностью данных схем является автоматическое построение топологических связей между элементами на основе графического рисунка схемы. На основе топологических связей строится электрическая модель, определяются электрические узлы и их текущее состояние - наличие напряжения. Схема представляется в виде набора цепей и узлов, связанных между собой силовыми элементами. Режим автоматически переопределяется при изменении положения любого коммутационного аппарата.

### **Средства подготовки. Исходные данные.**

Тренажер позволяет проводить тренировки не только на абстрактных учебных макетах, но и на модели конкретного энергообъекта, например, на котором работает обучаемый. Для этого в поставку программного комплекса включены средства подготовки макета:

- Графический редактор;
- Аниматор схем;
- Редактор упражнений;
- Редактор курсов;
- Просмотр результатов.

Тренажер позволяет вести базу данных (локальную или сетевую) по обучаемым и хранить архив результатов тренировок с возможностью вывода и распечатки протокола по каждой.

При создании пакета тренировок основной объем работы заключается в создании адекватного макета энергообъекта в Графическом редакторе и

Аниматоре. При подготовке макета должна быть создана модель схемы первичных присоединений энергообъекта, панелей щита управления и защит и др.

Для подготовки макета энергообъекта требуется собрать следующие исходные данные:

- Нормальная схема энергообъекта;
- Фотографии панелей управления, защит и автоматики, ячеек 6-10 кВ;
- Карта уставок защит;
- Журнал нормального положения органов управления защитами;
- Схемы релейной защиты;
- Фотографии высоковольтного оборудования;
- Типовые бланки переключений.

*Компьютерная тренажёрная система TWR-12 (ЗАО «Энергетические технологии»)*

Данный тренажерный комплекс применяется на электростанциях, предприятиях электрических сетей, ОДУ, РДУ и других объектах энергетики с 1995 года, при этом он постоянно совершенствуется с учетом пожеланий пользователей. Опыт эксплуатации тренажера на более чем 200 предприятиях подтвердил его высокую эффективность в обучении оперативного персонала любого уровня, его простоту в освоении и использовании.

TWR-12 выполнен с применением последних достижений в области искусственного интеллекта (теория нечетких множеств, нейронные сети) на основе разработанной авторами открытой оболочки экспертной системы. Типовые инструкции по переключениям и правила работы РЗА хранятся в виде метабаз знаний – текстовых файлов с правилами на русском языке. Режим создания тренировок генерируется автоматически в процессе выполнения операций на мнемосхемах в виде уникальных текстовых файлов с правилами на русском языке. Применение данной методологии создает исключительно гибкий инструмент, позволяющий в кратчайшие сроки вносить необходимые изменения и учитывать пожелания пользователей.

Учитывая современные требования к подготовке персонала, в 2007-2008 году была создана сетевая версия тренажера, впервые успешно примененная на Всероссийских соревнованиях персонала ОАО "РусГидро"(2008г.) и ОАО "Холдинг МРСК"(2009г.)

Компьютерная тренажёрная система TWR-12, созданная на основе технологий экспертных систем и систем искусственного интеллекта, позволяет создавать и проводить типовые противоаварийные тренировки по оперативным переключениям на энергопредприятиях всех уровней, включая ЦДУ и электростанции. TWR-12 позволяет:

- Создавать и печатать цветные мнемосхемы любых размеров;



- Легко создавать и сопровождать типовые и противоаварийные тренировки с учетом любых операций, включая РЗА, в режимах обучения, обучения с рейтингом и в режиме экзамена. Во всех режимах пользователь может выполнять любые переключения и сопровождающие их операции, при условии, что они не противоречат технике безопасности и требованиям типовых инструкций. Контроль выполняется на основе внутренней базы знаний TWR-12;
  - Автоматически создавать бланки переключений;
  - Проводить обучение персонала без создания тренировок – только на основе заложенных в систему баз знаний функционирования РЗА и типовых инструкций по переключениям;
  - Сопровождать все операции звуковыми и видео эффектами. Пользователь видит и слышит, как происходит переключение аппаратов и их разрушение (рисунок 8);
  - Присоединять к схеме базу данных по оборудованию. Данная разработка ведется совместно со службой АСУ МЭС Центра.

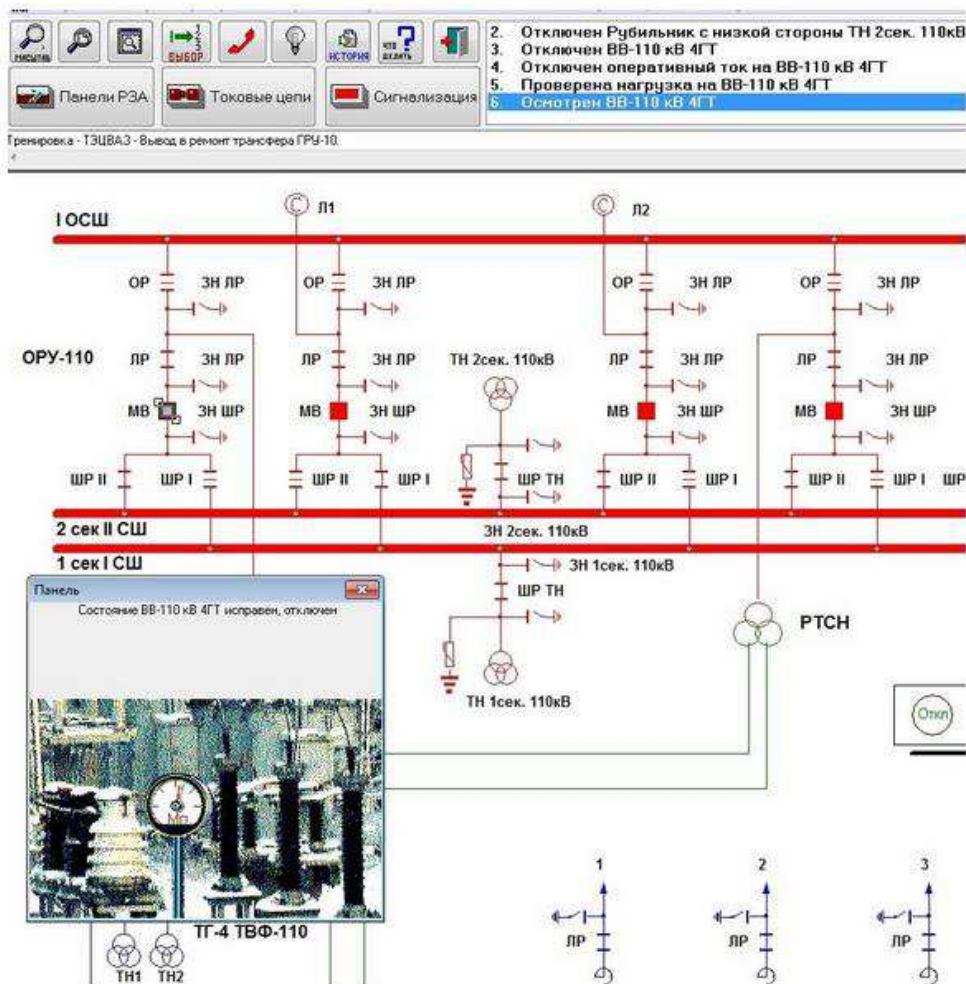


Рисунок 8 - Главная схема в тренажёре TWR-12  
 Учебно-тренажерный комплекс «КАСКАД» (ВНИИЭ)  
 Многофункциональный тренажер-советчик диспетчера энергосистемы «КАСКАД» предназначен для использования в качестве режимного тренажера

при подготовке эксплуатационного персонала энергосистем в отраслевых учебно-тренировочных центрах и в качестве советчика диспетчера энергосистемы в его производственной деятельности. Комплекс «КАСКАД» позволяет решать широкий круг задач от расчета установившихся и переходных режимов в энергосистемах и энергообъединениях до задач обучения и тренировки оперативно-диспетчерского персонала. Оценка параметров энергосистем как объектов управления, вычисление потерь в сетях и затрат по управлению нормальными, утяжеленными и послеаварийными режимами — все эти задачи могут быть решены комплексом «КАСКАД».

Комплекс внедрен в Башкирэнерго, Мосэнерго, СО-ЦДУ и ФСК ЕЭС. На комплексе «КАСКАД» впервые в России проведена совместная международная межсистемная тренировка оперативно - диспетчерского персонала в Санкт-Петербурге в 1996 г. (с общим числом участников 22 человека, представляющих 8 ЭЭС и энергообъединений). Тренажерный комплекс «КАСКАД» внедрен во всех 8-ми МЭС и в Центральном офисе ПАО "ФСК ЕЭС России". Пример интерфейса приведен в рисунке 9.

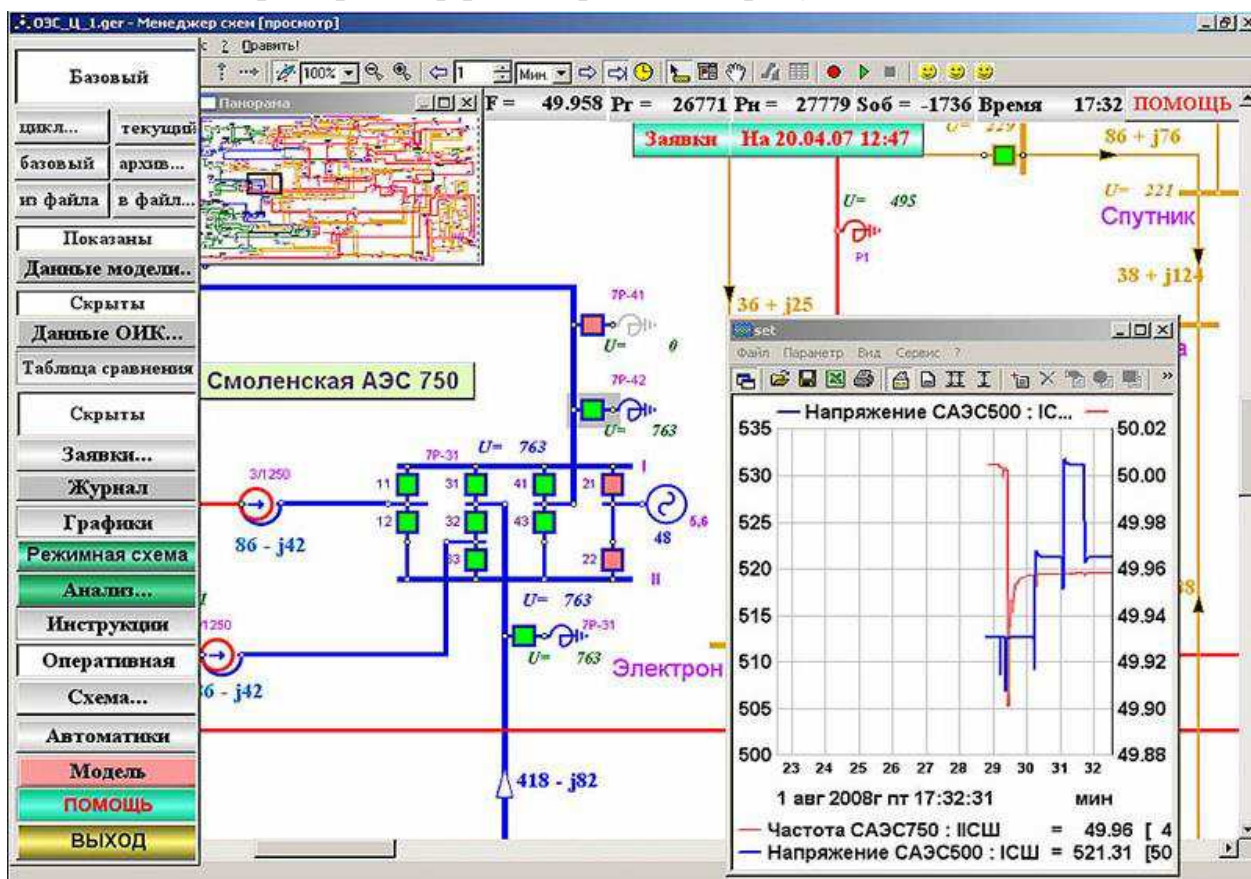


Рисунок 9 - Фрагмент оперативной схемы с элементами управления (ВЛ, выключатели, реакторы и т.д.)

*Универсальный режимный тренажер диспетчера «Феникс» (ГВЦ Энергетики).*

Комплекс программ режимного тренажера диспетчера энергосистемы на базе ПЭВМ предназначен для проведения противоаварийных тренировочных

учений оперативного персонала диспетчерских пунктов объединений энергосистем, энергосистем и предприятий электрических сетей. Тренажер реализован на локальной сети ПЭВМ и включает рабочее место инструктора (ведущего тренировку) и несколько рабочих мест обучаемых (тренируемых).

Все перечисленные тренажеры обладают следующими недостатками при использовании их в процессе обучения студентов:

- ориентированы на квалифицированных специалистов и студентам многое будет непонятно;
- для функционирования некоторых требуется специальное оборудование;
- подлежат распространению на коммерческой основе.

Поэтому было принято решение о разработке нового тренажера ориентированного на студентов, который должен удовлетворять следующие требованиям:

- функционировать на ПЭВМ;
- быть наглядным;
- иметь простой и функциональный интерфейс;
- содержать типовые схемы, с которыми студент сталкивается в процессе обучения.

С 2000 по 2005 г. РТД «Феникс» эксплуатировался в более чем 60 центрах диспетчерского управления компании ОАО «СО ЕЭС». В настоящее время этот комплекс эксплуатируется в нескольких филиалах компании ОАО «ФСК ЕЭС».

При разработке тренажера использовались директивные материалы: «Типовые схемы принципиальные электрические распределительных устройств напряжением 6-750 кВ подстанций» [1], «Инструкция по переключениям в электроустановках» [2]. В качестве языка программирования был выбран — Pascal, среды программирования — Delphi 7. Для успешного создания программы по оперативным переключениям требовались специальные элементы, с графической частью, которые в базе среды отсутствуют. Были созданы пять элементов: выключатель, разъединитель, заземлитель, трансформаторы тока и напряжения. Пользователь (студент) может производить прямые операции с первыми тремя.

В соответствии с типовыми схемами [1] в тренажер включены шесть наиболее используемых в эксплуатации схем распределительных устройств в виде мнемосхем. На схемах показаны все элементы первичных цепей: силовые трансформаторы, линии электропередачи, коммутационные аппараты, измерительные трансформаторы, сборные шины. Коммутационные аппараты представлены в оперативном состоянии (включены или отключены для текущего режима схемы). Для изменения оперативного состояния коммутационного аппарата на мнемосхеме тренажера необходимо на этот аппарат установить курсор и щелкнуть левой клавишей «мыши». В схемах предусмотрены блокировки, предотвращающие неправильные оперативные действия: нельзя переключать разъединитель под нагрузкой, нельзя включить

выключатель на включенный заземлитель и т. Операции с нарушением техники безопасности при коммутации тренажер блокирует и выдает сообщение об ошибке.

Для каждой схемы тренажера согласно «Инструкции по переключениям в электроустановках» [] составлены «бланки переключений» — строгая последовательность операций с коммутационными аппаратами, которую необходимо соблюдать при производстве оперативных переключений на тренажере. При проведении тренировки допускается произвольная последовательность операций, однако, после достижения поставленной «бланком переключений» цели, тренажер выдает сообщение о необходимом числе операций, о количестве выполненных операций, о количестве ошибочных операций.

### 3 Выбор оптимального комплекса для студентов СШФ СФУ

Для выбора оптимального тренажёрного комплекса необходимо провести анализ основных характеристик, путём сравнения передовых тренажёров энергетики с компьютерным тренажёрным комплексом МОДУС, результат которого представлен в таблицах 1-4.

Таблица 1 – Сравнение тренажёров для ТЭС и Модус

№	Характеристика	Тренажер ТЭС	МОДУС
1	Назначение	Полномасштабный тренажер	Тренажер переключений
2	Персонал	Оперативный персонал БЩУ ТЭС (НСС, НС КТЦ, машинисты КТЦ)	Оперативный персонал (НСС, НСМ, машинисты, электромонтеры)
3	Рабочие места тренируемых	Отображение БЩУ и АРМов на экранах ПК	Фотореалистичное масштабируемое отображение схем, шкафов и панелей на экранах ПК
4	Оценка действий	Интегральные показатели эффективности, баллы за конкретные действия	Баллы за конкретные действия
5	Адекватность модели	Высокий уровень подобия статических и динамических процессов	Коммутационная модель расчета
6	Редакторы	Нет	Редакторы схем, моделей и сценариев тренировок
7	Моделируемые режимы	Физическая модель процессов. Режимы нормальной эксплуатации, аварийные режимы	Расчет электрического режима, наличие КЗ, расчет расходных характеристик ГА.

Исходя из данных таблицы 1 можно сделать вывод, что основным преимуществом тренажёра ТЭС являются интегральные показатели эффективности оценки действий, что позволяет отслеживать прогресс обучения персонала, но из-за отсутствия возможности редактирования схем, моделей и сценариев тренировок данный тренажёр будет менее удобен в эксплуатации, так как потребует значительных временных и финансовых затрат.

Таблица 2 – Сравнение тренажёров TWR-12 и Модус

№	Характеристика	TWR-12	МОДУС
1	Назначение	Тренажер переключений	Тренажер переключений
2	Персонал	Оперативный персонал (НСС,НСМ, машинисты, электромонтеры)	Оперативный персонал (НСС,НСМ, машинисты, электромонтеры)
3	Рабочие места тренируемых	Упрощенное отображение схем, шкафов и панелей	Фотореалистичное отображение схем, шкафов и панелей
4	Оценка действий	Баллы за конкретные действия	Баллы за конкретные действия
5	Адекватность модели	Экспертная система	Коммутационная модель расчета, математическая
6	Редакторы	Редакторы моделей, тренировок	Редакторы схем, моделей и сценариев тренировок
7	Интеграция с другими системами	Режимный тренажер ФИНИСТ	Через программу – плагин, режимный тренажер ФЕНИКС
8	Автоматическое регулирование	нет	да - ГРАМ, ГРНРМ
9	Поддержка АРМ персонала	нет	да

Опираясь на данные таблицы 2, преимуществом тренажёрного комплекса TWR-12 является его упрощённое отображение схем, шкафов и панелей и экспертная система расчёта модели. Недостатками же является отсутствие автоматического регулирования и поддержки АРМ персонала. Так же, стоит отметить, что TWR-12 в основном направлен на обучение диспетчеров энергосистемы.

Таблица 3 – Сравнение тренажёров РДТ Финист и Модус

№	Характеристика	РДТ Финист	МОДУС
1	Назначение	Режимный тренажер	Тренажер переключений
2	Персонал	Диспетчеры электроэнергетических систем	Оперативный персонал (НСС,НСМ, машинисты, электромонтеры)
3	Рабочие места тренируемых	Схема энергосистемы, ОИК, тренажер TWR-12	Фотореалистичное масштабируемое отображение схем, шкафов и панелей
4	Оценка действий	Интегральные показатели эффективности, баллы за конкретные действия	Баллы за конкретные действия
5	Адекватность модели	Высокая. Динамическая модель ЭЭС, потребителей	Коммутационная модель расчета
6	Редакторы	Редакторы моделей, тренировок	Редакторы схем, моделей и сценариев тренировок
7	Формат хранения данных оборудования	SIM (IEC61970-IEC61968)	Собственный
8	Интеграция с другими системами	По протоколам IEC61970- 404 (HSDA), IEC870-5-104, IEC61970-403 (GDA),	Через программу – плагин

Основным недостатком режимного диспетчерского тренажёра (РДТ) «Финист» является, как и в случае с тренажёрным комплексом TWR-12, направленность на диспетчеров энергосистемы. Из положительных качеств стоит отметить интегральные показатели эффективности оценок действий и динамическую модель ЭЭС, потребителей.

Таблица 4 – Сравнение тренажёров ПТ АЭС и Модус

№	Характеристика	ПТ АЭС	МОДУС
1	Назначение	Полномасштабный тренажер	Тренажер переключений
2	Персонал	Персонал БЦУ АЭС (ведущие инженеры управления реактором, турбиной, блоком, начальники смен цехов)	Оперативный персонал (НСС,НСМ, машинисты, электромонтеры)
3	Рабочие места тренируемых	Полная копия БЦУ и РЦУ (физическая)	Фотореалистичное масштабируемое отображение схем, шкафов и панелей
4	Оценка действий	Интегральные показатели эффективности, баллы за конкретные действия	Баллы за конкретные действия
5	Адекватность модели	Реальный объект и модель неразличимы	Коммутационная модель расчета
6	Редакторы	Настройка регуляторов, защит, корректировка характеристик основного оборудования	Редакторы схем, моделей и сценариев тренировок
7	Моделируемые режимы	Физическая модель процессов. Режимы нормальной эксплуатации, аварийные и проектные режимы	Расчет электрического режима, наличие КЗ, расчет расходных характеристик Г.А.

Полномасштабный тренажер (ПТ) АЭС – программно-технический моделирующий комплекс, созданный с использованием проектной, пусконаладочной и эксплуатационной документации энергоблока, и базирующийся на комплексной всережимной математической модели энергоблока, функционирующей в реальном масштабе времени.

Тренажер предназначен для профессиональной совместной подготовки оперативного персонала блочного пункта управления энергоблока с использованием его реальной полномасштабной модели.

Сопоставив различные варианты тренажёрных комплексов и проведя сравнительный анализ их основных характеристик с характеристиками тренажёра «МОДУС» можно прийти к заключению, что данный тренажёрный комплекс является наиболее подходящим средством обучения оперативного персонала гидроэлектростанций, так как обладает рядом значимых преимуществ:

- наличие редактора схем, моделей и сценариев тренировок;



- фотореалистичное масштабируемое отображение схем, шкафов и панелей;
- соблюдение необходимых правил техники безопасности (СиЗ);
- простота эксплуатации;
- экономическая выгода.

Всероссийские соревнования оперативного персонала ГЭС – это ключевое мероприятие, направленное на оценку и совершенствование уровня профессиональной подготовки оперативного персонала гидроэлектростанций, распространения передовых и новых методов работы.

Компания Модус имеет большой опыт проведения соревнований оперативного и диспетчерского персонала различного уровня.

В 1999-2003 г. с нашим участием проведены соревнования ЦДУ и ОДУ Центра, МЭС.

В Мосэнерго на тренажере Модус регулярно (1-2 раза в год) проводятся соревнования различного уровня с участием разработчиков. Это соревнования комплексных бригад распределительных сетей, ПЭС, электростанций с поперечными связями, диспетчеров ЦДС. Кроме того, на филиалах проводятся соревнования без участия разработчиков.

Как правило, на соревнованиях проводятся коллективные тренировки с использованием сетевой версии тренажера.

#### **4 Сценарий для студентов СШФ СФУ на основе тренажёрного комплекса МОДУС**

Для обучений студентов СШФ СФУ по специальности электроэнергетика и электротехника в рамках дисциплины Электрические станции и подстанции проводятся лабораторные работы с использованием компьютерного тренажёрного комплекса МОДУС. Одной из цели занятий является ознакомление студентов с особенностями построения схем электроэнергетики, с процессом выполнения оперативных переключений в электроустановках, взаимодействие оперативного персонала как энергопредприятия, так и объектов электроэнергетики, обучение работы с нормативной документацией. Также в данной работе студенты закрепляют знания полученные в процессе изучения дисциплины безопасность жизнедеятельности (БЖД).

Компьютерный тренажёр отлично подходит для подготовки студентов, так как не влечёт рисков повреждения оборудования или нарушения работы, позволяет моделировать различные схемы от простых до более сложных. Еще одной положительной стороной является то, что в отличие от стажировки на предприятии, когда за одним стажёром закреплён один руководитель, в рамках обучения в институте один преподаватель должен контролировать работу до 15 студентов. Что без применения специальных оценочных инструментов, имеющихся в тренажёрном комплексе, было бы весьма проблематично.

Особенность применения МОДУСА в рамках СШФ СФУ является его применение на третьем курсе обучения, когда студенты только начинают изучать специальные дисциплины. У обучающихся нет полного представления о работе энергообъектов, в частности они еще не знакомы с устройствами релейной защиты и противоаварийной автоматики, не в полной мере с режимами энергосистем и особенностями эксплуатации оборудования, что безусловно сказывается на процессе обучения.

Для обучения была выбрана одна из поставляемых вместе с программным комплексом схема Энской ГЭС (Рисунок А.1). Данная схема включает несколько распределительных устройств разных схем и классов напряжения. Также в схеме смоделированы панели управления защит и противоаварийной автоматики (Рисунок Б.1), пульт стол ЦПУ (Рисунок В.1), щиты собственных нужд. Несколько вариантов схем выдачи мощности как укрупненными блоками, так и простыми генератор-трансформатор, позволяют ознакомиться с особенностями выполнения операции по переключениям.

На первых занятиях с студентами проводится обучающие занятия по работе в программном комплексе. Далее проводится занятия по переключению уже по готовому бланку переключений совместно с преподавателем. На следующем этапе занятий со студентами самостоятельно переключаются по заранее заготовленного бланку переключений. А на заключительных занятиях студенты самостоятельно составляют бланки и производит переключение в программном комплексе с заданием по выводу оборудования в ремонт и вводу оборудования в работу после ремонта.

При производстве самих переключений уделяется внимание к проверке наименования оборудования, очередности операций, вывешивание плакатов безопасности. Особое внимание уделяется применению средств защиты.

Стоит отметить, что с учащимися не проводится отработка действий по предотвращению развития и ликвидации нарушений нормального режим энергосистемы. Так как на данном этапе обучения студенты не владеют необходимыми знаниями.

Для примера приведён сценарий по выводу в ремонт ВЛ 220кВ Энская ГЭС.

Задача: Составить бланк переключений на вывод в ремонт ВЛ 220кВ Энская ГЭС – ПС Западная и дополнительно указать места вывешивания плакатов (знаков безопасности). Исходное состояние схемы: схема нормальная, без отклонений в части объектов диспетчеризации, релейная защита и автоматика введена в полном объеме. В качестве справочного материала «Правила переключений в электроустановках Минэнерго РФ от 13.09.2018 №757» [] а также Приказ Минтруда России от 24.07.2013 N 328н "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок" [].

Последовательность выполнения операций при переключениях:

По команде ДД ОДУ.

1. ЦПУ. П7. Отключить выключатель В1 Западная 220.
2. ЦПУ. П7. Проверить отключенное положение В1 Западная 220 по сигнализации. (Вывесить плакат: “Не включать! Работают люди!”)
3. ЦПУ. П7. Отключить выключатель В2 Западная 220.
4. ЦПУ. П7. Проверить отключенное положение В2 Западная 220 по сигнализации. (Вывесить плакат: “Не включать! Работают люди!”)
5. Зал 220 кВ. П23. Панель автоматов выключателей.SF13 Управление и автом. В1 Западная 220. Отключить. (Вывесить плакат: “Не включать! Работают люди!”)
6. Зал 220 кВ. П23. Панель автоматов выключателей.SF14 Управление и автом. В2 Западная 220. Отключить. (Вывесить плакат: “Не включать! Работают люди!”)
7. ОРУ-220 кВ. В1 Западная 220. Проверить отключенное положение выключателя. (Вывесить плакат: “Не включать! Работают люди!”)
8. ОРУ-220 кВ. В2 Западная 220. Проверить отключенное положение выключателя. (Вывесить плакат: “Не включать! Работают люди!”)
9. ОРУ-220 кВ. ЛР1 Западная 220. Осмотреть разъединитель.
10. ОРУ-220 кВ. ЛР2 Западная 220. Осмотреть разъединитель.
11. Зал 220 кВ. П25. Панель управления РЗД. ВЛ-220 кВ Энская ГЭС – ПС Западная. КУ ЛР1 Западная 220. Отключить разъединитель. (Вывесить плакат: “Не включать! Работа на линии!”)

12. Зал 220 кВ. П25. Панель управления РЗД. ВЛ-220 кВ Энская ГЭС – ПС Западная. SF27 Цепи управления ЛР1 Западная 220. Отключить. (Вывесить плакат: “Не включать! Работают люди!”)

13. Зал 220 кВ. П25. Панель управления РЗД. ВЛ-220 кВ Энская ГЭС – ПС Западная. КУ ЛР2 Западная 220. Отключить разъединитель. (Вывесить плакат: “Не включать! Работа на линии!”)

14. Зал 220 кВ. П25. Панель управления РЗД. ВЛ-220 кВ Энская ГЭС – ПС Западная. SF26 Цепи управления ЛР2 Западная 220. Отключить. (Вывесить плакат: “Не включать! Работают люди!”)

15. ОРУ-220 кВ. ЛР1 Западная 220. Проверить отключенное положение разъединителя.

16. ОРУ-220 кВ. ЛР2 Западная 220. Проверить отключенное положение разъединителя.

17. ОРУ-220 кВ. Проверить отсутствие напряжения на ЗН 1 ВЛ 220 Энская ГЭС – ПС Западная 220.

18. ОРУ-220 кВ. ЗН1. ВЛ-220 кВ Энская ГЭС – ПС Западная. ЗН 1 Западная 220. Включить.

19. ОРУ-220 кВ. ЗН 1 Западная 220. Проверить включенное положение ф. «А», ф. «В», ф. «С».

20. Зал 220 кВ. П25. Панель управления РЗД. ВЛ-220 кВ Энская ГЭС – ПС Западная. КУ ЛР1 Западная 220. Вывесить плакат: «Заземлено!»

21. ОРУ-220 кВ. Проверить отсутствие напряжения на ЗН 2 ВЛ 220 Энская ГЭС – ПС Западная 220.

22. ОРУ-220 кВ. ЗН2. ВЛ-220 кВ Энская ГЭС – ПС Западная. ЗН 2 Западная 220. Включить.

23. ОРУ-220 кВ. ЗН 2 Западная 220. Проверить включенное положение ф. «А», ф. «В», ф. «С».

24. Зал 220 кВ. П25. Панель управления РЗД. ВЛ-220 кВ Энская ГЭС – ПС Западная. КУ ЛР2 Западная 220. Вывесить плакат: «Заземлено!»

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационного исследования были произведён анализ передовых тренажёров с сравнением основных характеристик.

Был выбран наиболее подходящий тренажёрный комплекс для обучения студентов Саяно-Шушенского Филиала Сибирского Федерального Университета.

На сегодняшний день существует множество тренажерных комплексов для обучения оперативного персонала ГЭС, ТЭС, АЭС, ОДУ, РДУ и т.д. Все они представляют собой комплексные программы позволяющие смоделировать максимальное количество аварийных ситуаций для обучения персонала без вреда оборудованию. Ежегодно проводятся мероприятия, направленные на оценку и совершенствование уровня профессиональной подготовки оперативного персонала гидроэлектростанций, распространения передовых и новых методов работы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пуликовский К. Б. Приоритет качеству подготовки, профессиональному обучению и аттестации работников организаций, поднадзорных Ростехнадзору. // «Безопасность труда в промышленности», №7, 2006 год.
2. Магид С. И., Архипова Е. Н. Тренажерная подготовка персонала энергетики. История. Состояние. Нормы. Москва Издательство «Энергобезопасность» 2017 г.
3. Веников В. А., Гусейнов А. Ф., Суханов О. А. Функциональное представление подсистем в кибернетическом моделировании // Тр. семинара. Кибернетика электроэнергетических систем. Брянск: 1974. Вып.2.
4. Всережимный диспетчерский тренажер реального времени ЭЭС. Свечкарев С. В. Томский политехнический университет. 2011г. eLIBRARY ID: 19263776
5. Тренажер персонала оперативного управления режимом электроэнергетической системы как элемент smart grid-технологий. Комар В.А., Бурыкин А.Б. Винницкий национальный технический университет. 2011г.
6. "Тренажер тепловой электрической станции для оперативного персонала для нужд АО "ТГК-11", структурное подразделение "ТЭЦ-3" ЖМУРОВ Н.В., ГУЛЕВИЧ Е.А. 2018г.
7. ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ДИСПЕТЧЕРСКИЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ТРЕНИНГА ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО ПЕРСОНАЛА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ. Трусов В.А., Горинов М.А., Хазеев Б.Ш., Калитин А.С., Ляпин А.Ю., Сарданашвили С.А., Швечков В.А., Южанин В.В., Халиуллин А.Р., Голубятников Е.А., Бальченко А.С., Попов Р.В., Бедердинов Г.О. Патент на изобретение RU 2639932, 25.12.2017.
8. КОМПЛЕКСНЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА ЭНЕРГОБЛОКА МОЩНОСТЬЮ 800 МВт ПЕРМСКОЙ ГРЭС. Певнева Н.Ю., Писков В.Н., Зенков А.Н. Теплоэнергетика. 2007. № 7. С. 31-35.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Главная схема Энской ГЭС в тренажёре МОДУС

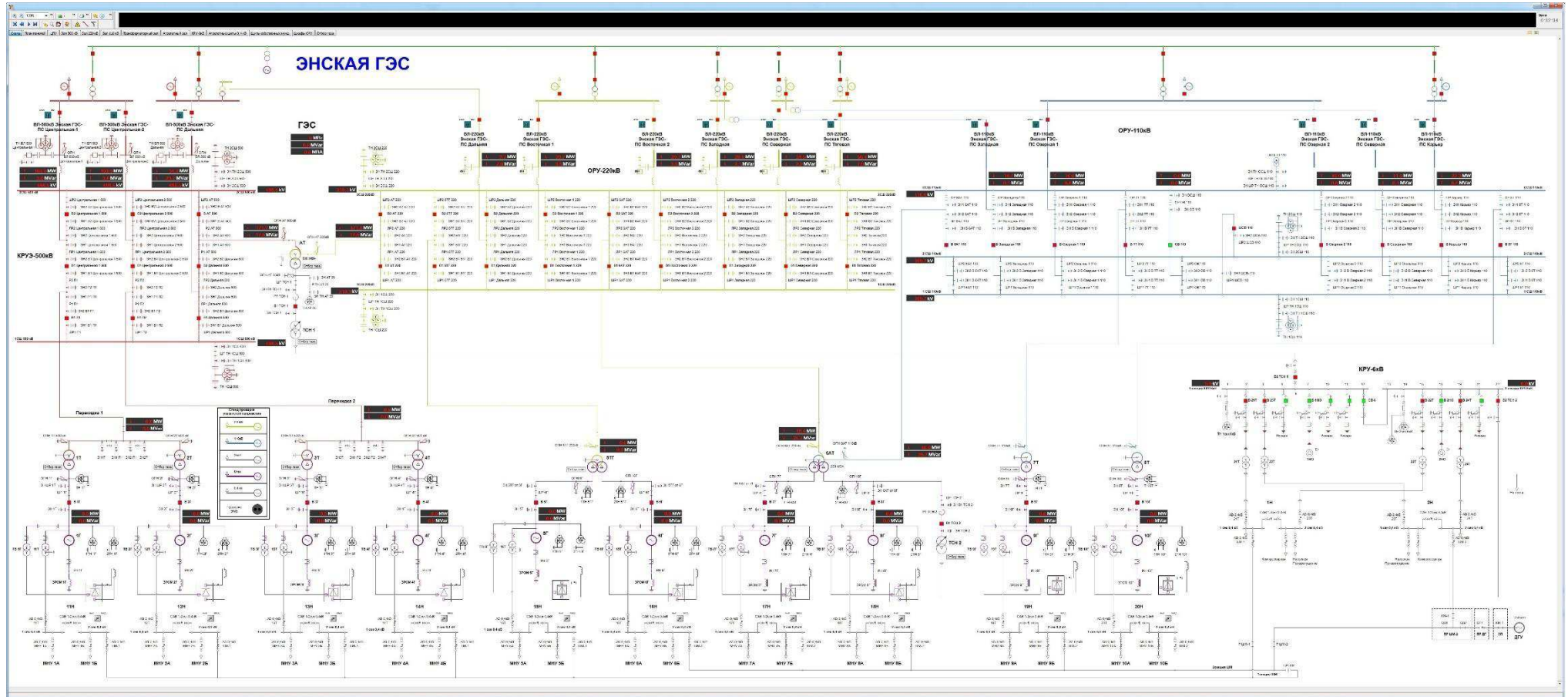


Рисунок А.1 - Главная схема Энской ГЭС в тренажёре МОДУ

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

## Зал 220кВ в тренажёре МОДУС

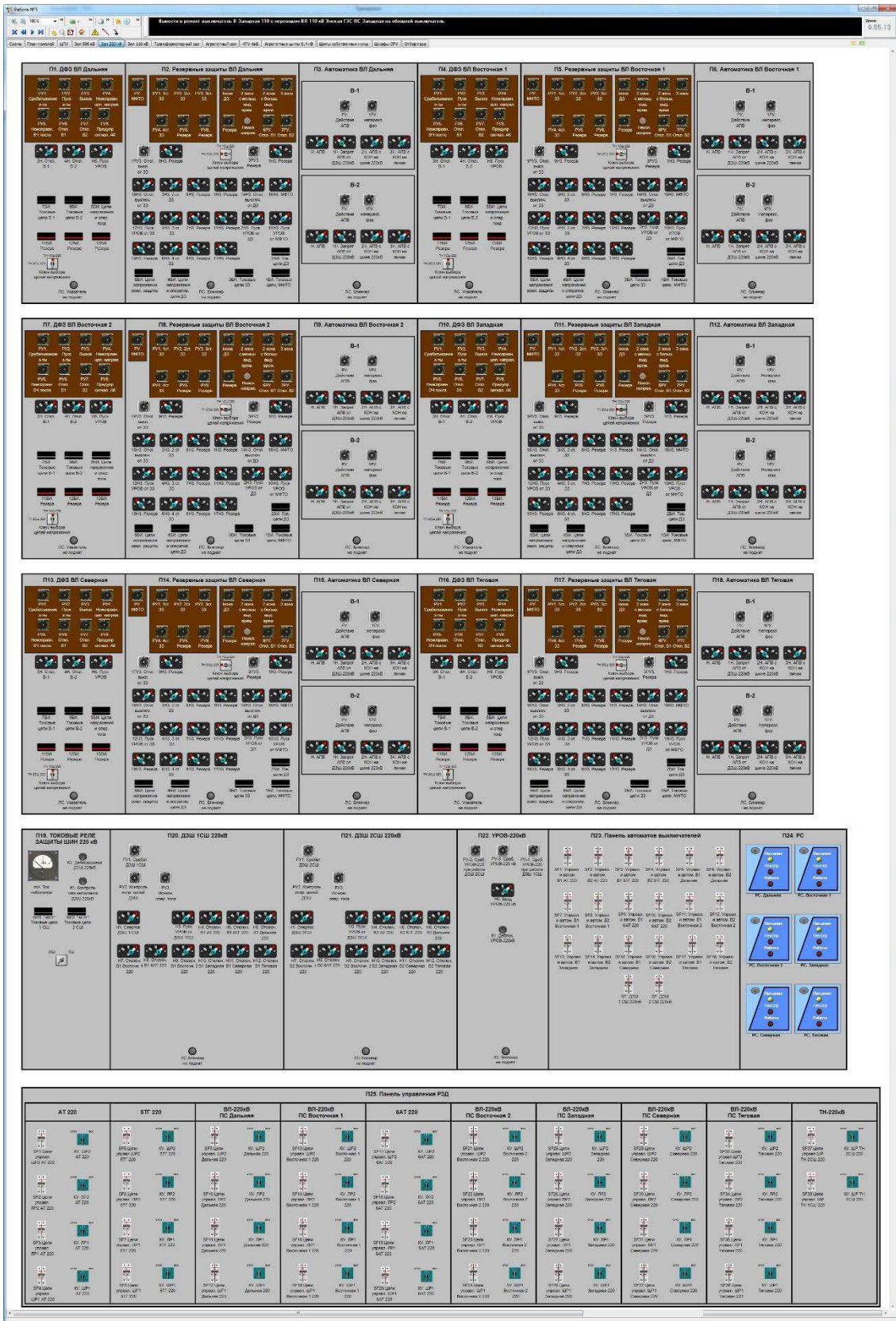


Рисунок Б.1 - Зал 220кВ в тренажёре МОДУС



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Центральный Пульт Управления в тренажёре МОДУС

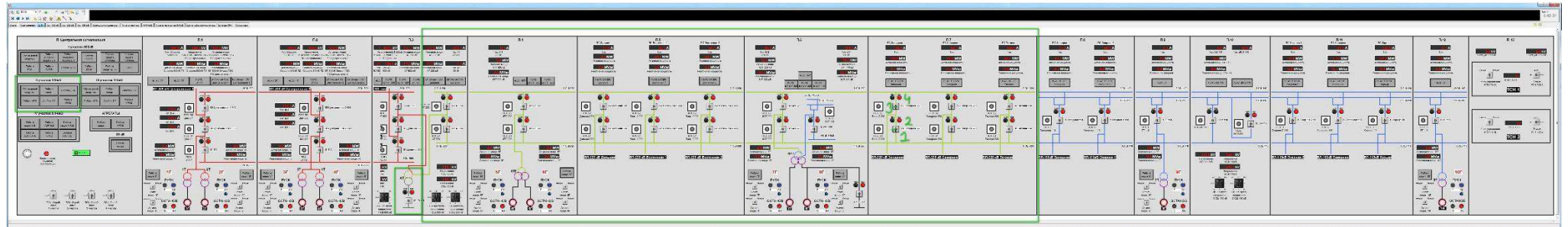


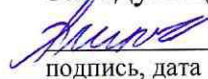
Рисунок В.1 - Центральный Пульт Управления в тренажёре МОДУС

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

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

  
подпись, дата

А.А. Ачитаев  
инициалы, фамилия

« 2 » 07 2020 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

**ТРЕНАЖЁР ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА  
ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ. ВНЕДРЕНИЕ СЦЕНАРИЕВ ДЛЯ  
СТУДЕНТОВ СШФ СФУ НА ОСНОВЕ ТРЕНАЖЁРА МОДУС**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

Научный руководитель

  
подпись, дата

Инженер ОС  
Филиала ПАО  
"РусГидро" - "Саяно-  
Шушенская ГЭС им.  
П.С.Непорожнего"  
должность

Ю.А. Мальцев  
инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата

А.А. Бернякович  
инициалы, фамилия

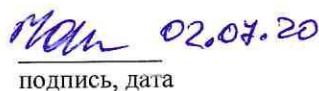
Рецензент

  
подпись, дата

Начальник ОС  
Филиала ПАО  
"РусГидро" - "Саяно-  
Шушенская ГЭС им.  
П.С.Непорожнего"  
должность

И.Ю. Погоняйченко  
инициалы, фамилия

Нормоконтролёр

  
подпись, дата

А.А. Чабанова  
инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2020