

Повышение комбинированной защиты объектов теплоэнергетики за счет внедрения комплексных тренажерных обучающих систем котлотурбинного цеха и электроцеха

НПФ «КРУГ»:

Мыскин В. М. – ведущий специалист по АСУ ТП

Салитов А. В. – начальник департамента АСУ ТП

Башкирская Генерирующая Компания:

Коробков В. В. – начальник ПТО Салаватской ТЭЦ

Ипполитов А. Г. – зам. главного инженера Салаватской ТЭЦ

Аннотация

«Тяжело в учении – легко в бою», - считал Александр Васильевич Суворов.

Если рассматривать данный афоризм в разрезе реальных примеров и построить аналогию с промышленным сектором, то смысл этого высказывания интуитивно понятен каждому – хорошо подготовленному специалисту «в бою» легче, чем слабо подготовленному.

От исторических афоризмов давайте перейдем к конкретике. С середины 20-го века всю территорию континента охватила волна промышленной революции. Активно начали развиваться все области промышленности. Особенно стоит отметить области электроэнергетики и генерации, поскольку в таких областях, по понятным причинам, все это время наиболее остро стоит вопрос безопасности персонала и оборудования. Это связано с тем, что их специфика напрямую связана с потенциально опасными технологическими процессами, высокими значениями электрического напряжениями, из-за чего цена ошибок во время работы очень высока.

Более чем за 80 лет произошли серьезные изменения в аппаратно-технической части систем автоматического контроля и управления (АСУ), систем противоаварийных защит (ПАЗ), включая переход от традиционных релейных схем к микропроцессорной технике. Стоит отметить, что из-за совершенствования систем АСУ и ПАЗ количество промышленных аварий серьезно сократилось, однако тяжесть аварий увеличилась, в том числе из-за человеческого фактора.

Бесспорно, один из лучших вариантов получения бесценного опыта специалистами по правильным действиям в момент возникновения аварийной ситуации и последующей ликвидации её последствий – это непосредственное участие человека в реальной аварийной ситуации. Однако никакие плюсы данного метода не могут перевесить его минусы. Можно ли, минимизируя риски при обучении, не потерять эффективность данного обучения? При современном уровне развития ИТ-технологий и разработок в области математического моделирования – да.

Специалисты разных научно-технических областей сходятся во мнении, что в процессе обучения необходимо использовать такие обучающие системы, которые могли бы полностью имитировать поведение реального технологического объекта. Наиболее ценной в таком обучении является имитация различных аварийных ситуаций без ущерба для оборудования и без рисков для здоровья и жизни персонала. Такими обучающими системами являются компьютерные тренажерные комплексы (КТК) на базе цифровых двойников реальных объектов. [КТК ТРОПА®](#) - один из вариантов.

На базе данного решения могут быть созданы тренажеры для объектов различных отраслей промышленности, включая теплоэнергетику, нефтяную, газовую, нефтехимическую и прочие промышленности. Объектами управления могут быть котлы, паровые и газовые турбины, ГРП, нефтеперерабатывающие установки, нефте- и газохранилища, парки ГСМ, топливозаправочные комплексы и другие производственные установки, функционирующие на опасных производственных объектах, включая объекты критической информационной инфраструктуры (КИИ).

Использование подобных систем позволит как оценить текущую квалификацию и компетенции персонала, обслуживающего объект, так и повысить её, поддержать на должном уровне, позволит отрабатывать навыки безопасного и технологически правильного управления оборудованием в сложных переходных и аварийных режимах.

С этими сложными переходными и аварийными режимами даже опытный оперативный персонал в повседневной работе сталкивается достаточно редко, поэтому очень часто ошибочные реакции и действия персонала в нестандартных ситуациях на начальных этапах возникновения аварии приводят к серьезным материальным и финансовым потерям. Это ещё раз подчеркивает важность использования КТК в процессе проф. подготовки оперативного и обслуживающего персонала, в том числе для повышения их психологической устойчивости «в бою».

Назначение и реальное внедрение

Тренажерная подготовка оперативного персонала – одна из наиболее эффективных форм профессионального обучения, обеспечивающая снижение аварийности, повышение эффективности и надежности работы технологического оборудования. Анализ инцидентов с ошибками персонала показывает, что наибольшее количество ошибочных действий совершается во время аварийных ситуаций, при пусках, остановках, при производстве плановых переключений и других воздействиях на органы управления оборудованием. Частота ошибочных действий персонала зависит от его навыков 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 нестандартных и аварийных ситуаций невозможно обучиться без применения современных компьютерных тренажеров.

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

В 2022-2023 годах компанией «КРУГ» было успешно проведено комплексное внедрение в эксплуатацию двух учебных тренажерных комплексов на Салаватской ТЭЦ. В концепцию компьютерных тренажеров заложен цифровой двойник основного и вспомогательного электротехнического и тепломеханического оборудования котлотурбинного (КТЦ) и электрического цехов (ЭЦ – рис. 1).

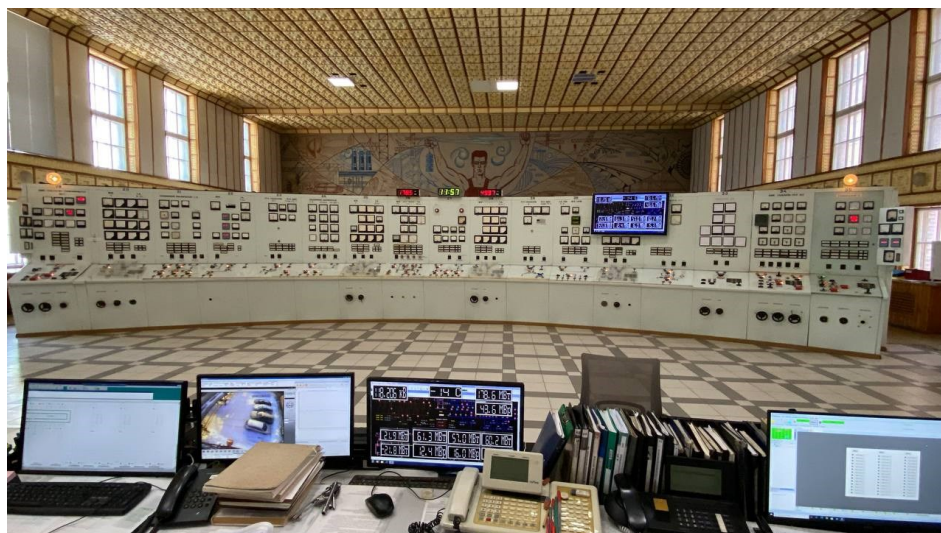


Рис. 1. Главный щит ЭЦ Салаватской ТЭЦ

Салаватская ТЭЦ входит в состав ООО «Башкирская генерирующая компания». Была построена для обеспечения энергоресурсами Салаватского нефтехимического комбината (сегодня «Газпром нефтехим Салават» – крупнейший нефтехимический комплекс России) и рабочего поселка, который впоследствии перерос в город Салават. Сегодня предприятие отпускает электрическую энергию, а также тепловую энергию в паре и горячей воде на нужды отопления. Основным видом топлива на ТЭЦ является природный газ. Установленная электрическая мощность – 180 МВт, тепловая – 706 Гкал/ч.

В составе компьютерного тренажера ЭЦ имитируется работа основного и вспомогательного оборудования электрической части ТЭЦ, включая генераторы ТВ-60-2, системы шин, воздушные линии электропередач и т.д. Было выполнено моделирование ОРУ 35кВ и 110 кВ, РУ-6 кВ, РУСН-6кВ, РУСН-0,4кВ, включая главный щит управления с ключами управления и комплексной сигнализацией (рис. 2 и 3).

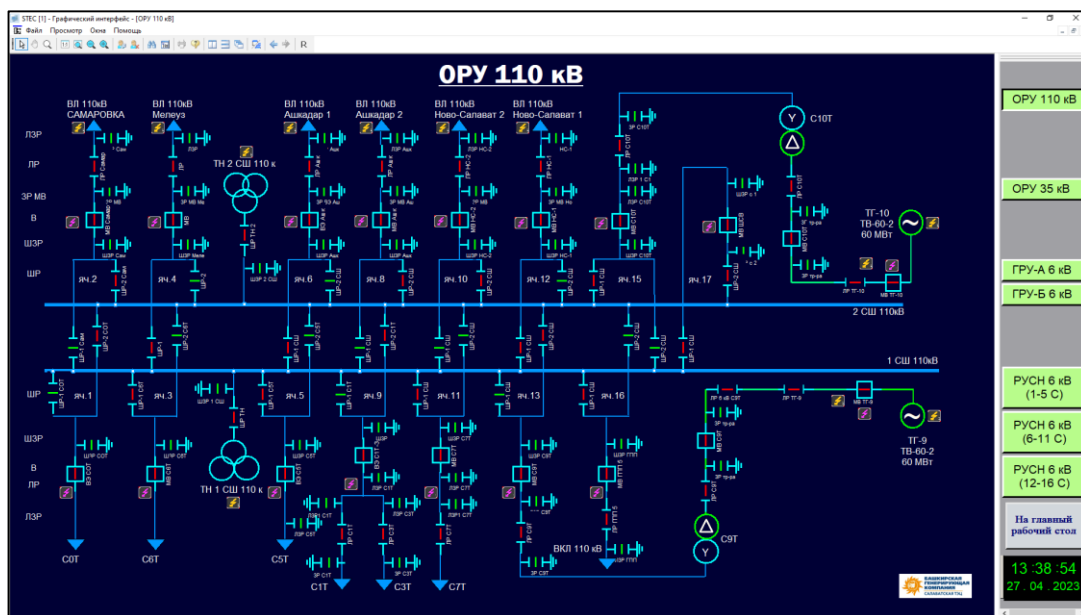


Рис. 2. Графическая мнемосхема «ОРУ 110 кВ»

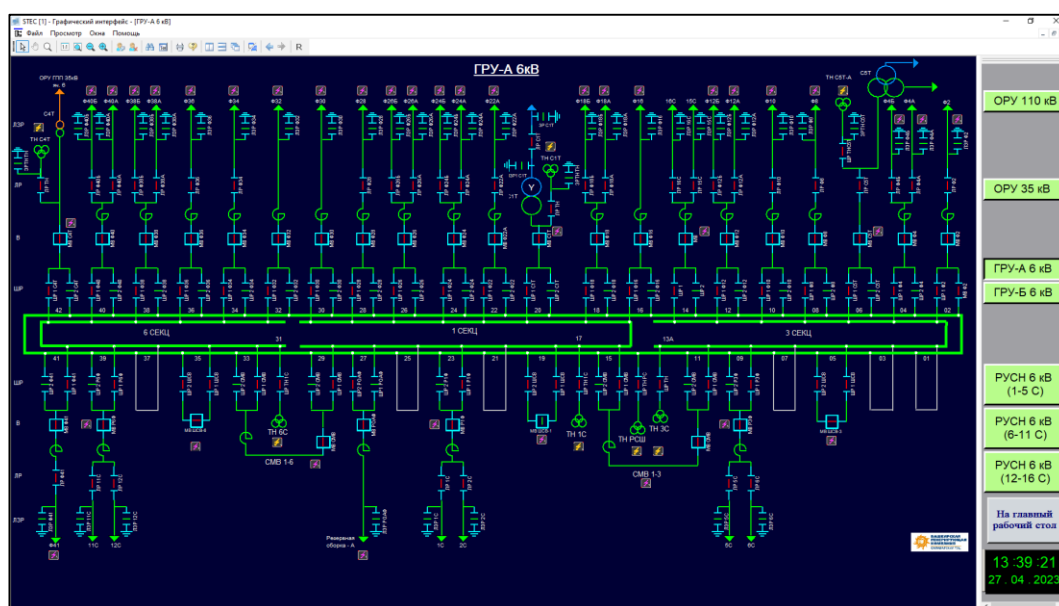


Рис. 3. Графическая мнемосхема «ГРУ-А 6 кВ»

При разработке компьютерного тренажера КТЦ были использованы графический проект (интерфейс), алгоритмы работы и управления основным и вспомогательным оборудованием, взятые с реально действующей системы автоматизации (рис. 4 – 8).

Программное обеспечение тренажера должно быть выполнено на одной платформе с программным обеспечением, установленным на «боевой» АСУ ТП.

В составе тренажера была достоверно симитирована вся элементная и программная база измерительно-информационных систем, систем автоматического управления и систем технологических защит и блокировок паровых турбин ТП-60-90 и паровых котлоагрегатов ГМ-151 Салаватской ТЭЦ, функционирующих на базе **программно-аппаратного (программно-технического) комплекса КРУГ-2000 (ПАК ПТК КРУГ-2000®)**.

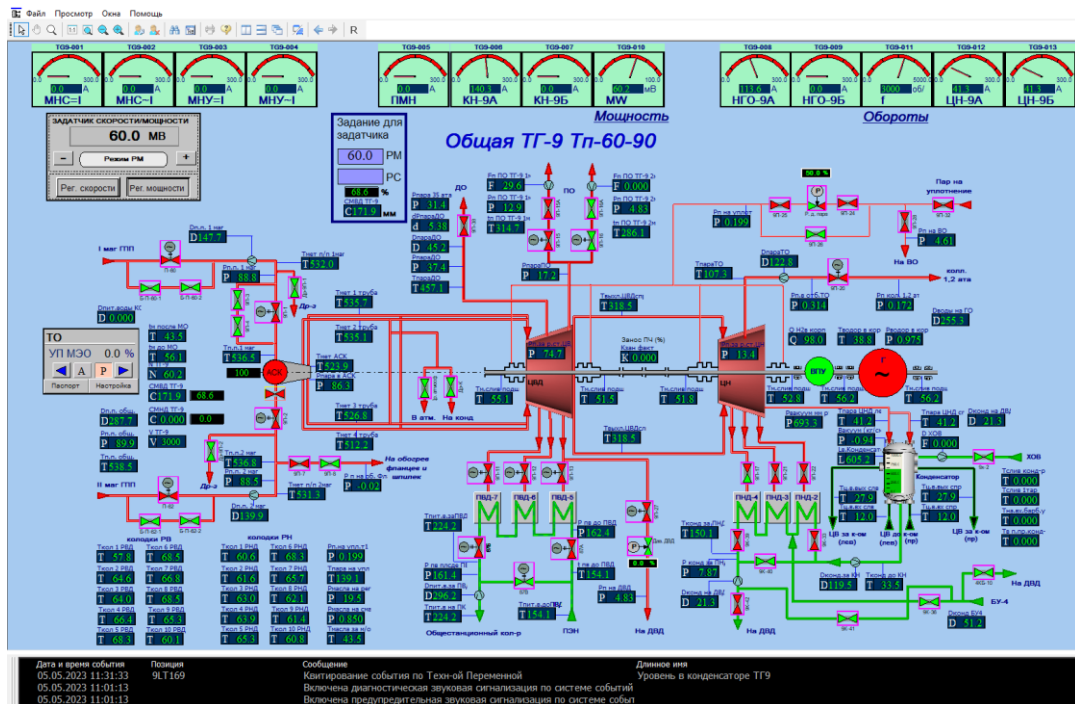


Рис. 4. Графическая мнемосхема «Общая ТГ-9»

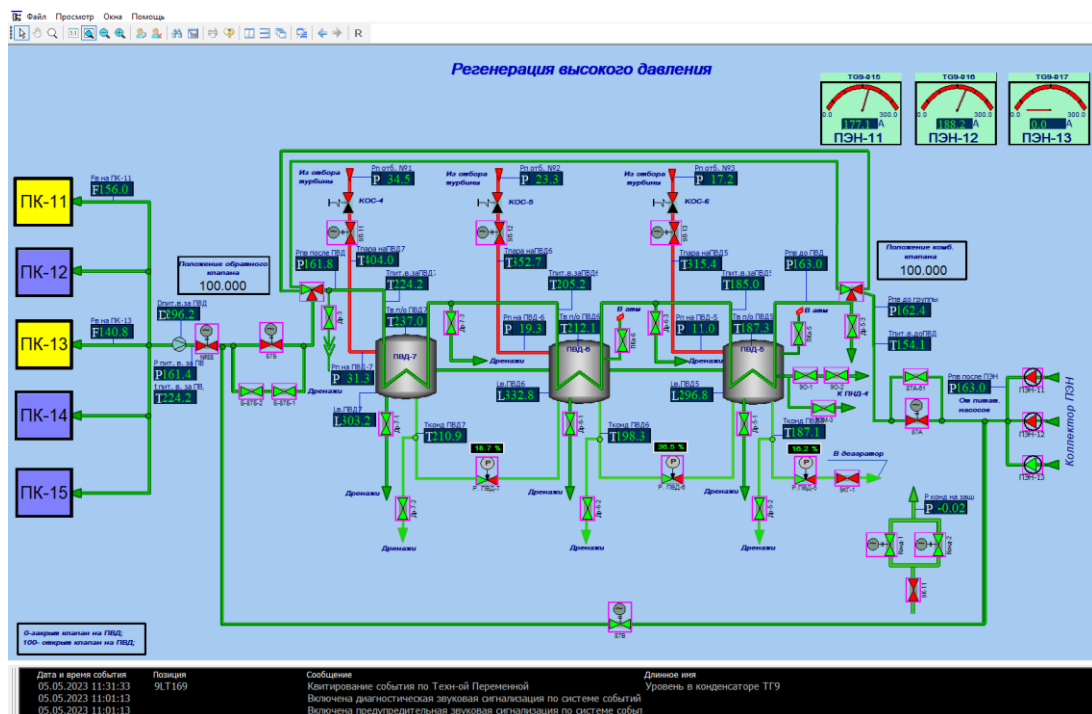


Рис. 5. Графическая мнемосхема «Регенерация высокого давления»

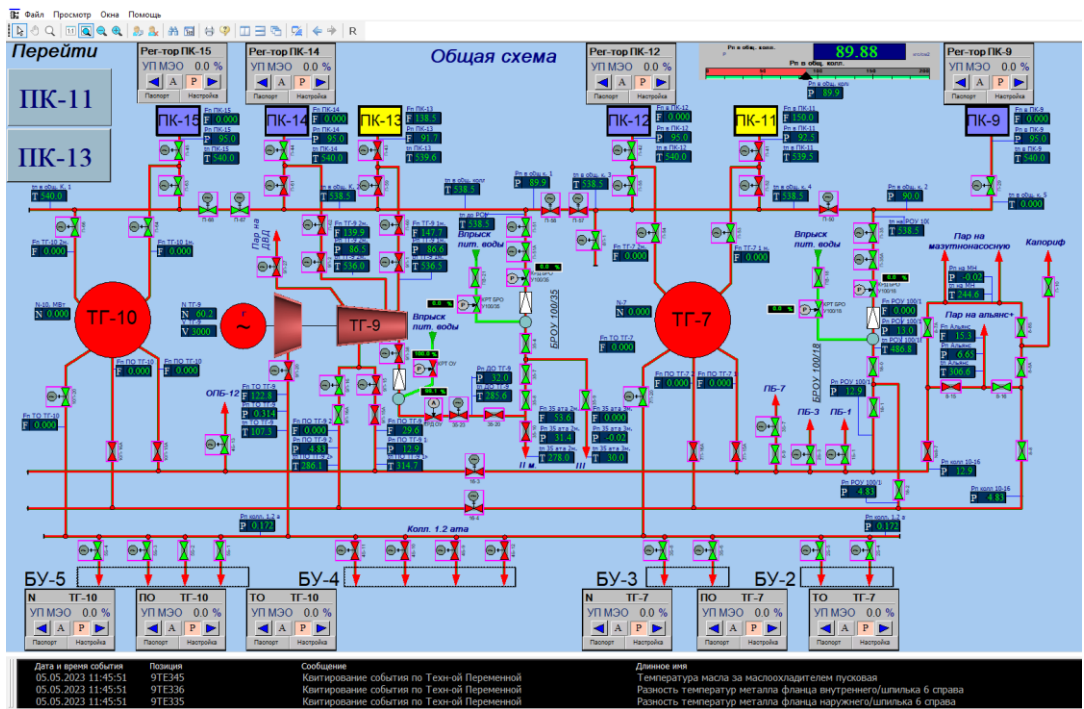


Рис. 6. Графическая мнемосхема «Общестанционное оборудование»

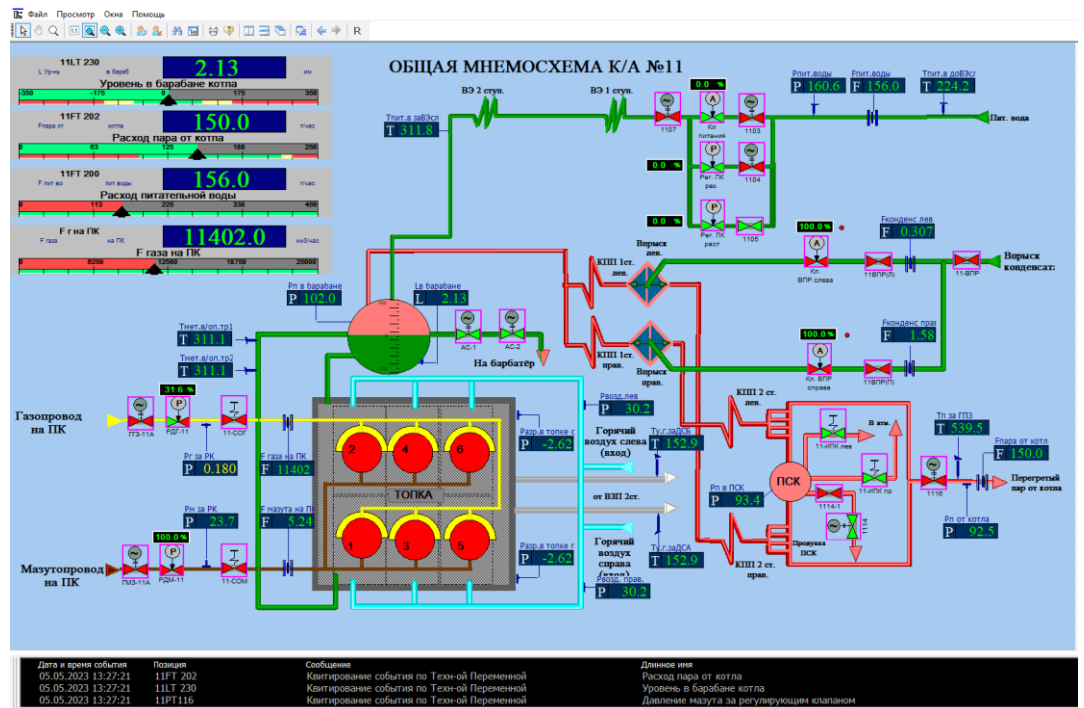


Рис. 7. Графическая мнемосхема «Общая мнемосхема ПК-11»

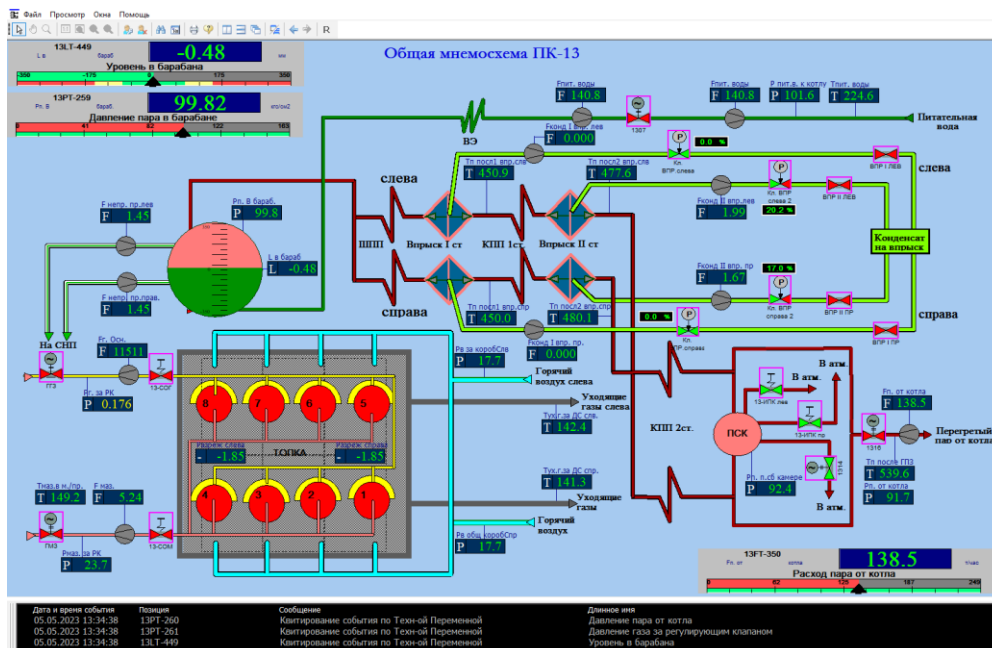


Рис. 8. Графическая мнемосхема «Общая мнемосхема ПК-13»

Цели внедрения

- Использование обучающих систем для высокоэффективной подготовки персонала:
 - начальное обучение работы с оборудованием
 - поддержание и повышение квалификации оперативного и эксплуатационного персонала
 - проведение аттестации и проверки навыков и компетенций специалистов в соответствии с требованиями ПТЭ
- Повышение психологической устойчивости оперативного персонала при отработке нештатных и аварийных ситуаций
- Выработка навыков безопасного и экономичного управления оборудованием, в том числе в сложных переходных режимах с целью сокращения числа технологических нарушений, связанных с ошибками персонала.

Основные функции тренажера

Основные функции проведения тренировок

- Работа системы в темпе управляемого **«модельного» времени** с функциями:
 - остановки и возобновления хода времени
 - ускорения/замедления хода и «перемотки» времени в пределах имеющейся истории тренировки
- Создание, сохранение и последующая загрузка требуемых для проведения тренировок **«исходных состояний»** модели
- Создание, сохранение и последующая загрузка последовательности изменений параметров модели в виде **«сценария тренировки»**
- Расширенное ведение истории тренировки с возможностью:
 - просмотра хода тренировки в нормальном и (или) ускоренном темпе **«модельного» времени (демонстрация)** с отображением данных непосредственно на мнемосхемах модели АСУ ТП
 - возобновление тренировки из **любой** промежуточной точки имеющейся истории
 - сохранение и загрузка истории тренировки для просмотра ее хода, анализа ошибочных действий и «работы над ошибками» (повторение тренировки из точки, предшествующей ошибочным действиям)
- Проведение как **индивидуальных**, так и **групповых тренировок** операторов

- Создание аварийных и прочих ситуаций инструктором в момент проведения тренировки или экзамена
- Проведение **экзаменов** с выставлением оценки и формированием экзаменационного протокола.

Информационные и управляющие функции тренажера

- Моделирование технологического процесса объекта с формированием технологических параметров, повторяющих реальные значения;
- Моделирование исполнительных механизмов и регулирующих органов, а также их характеристик и типовых неисправностей, включая расходные характеристики, люфты, тормоза, нечувствительности и прочие
- Моделирование работы информационных и управляющих контроллеров АСУ ТП со 100%-ным повторением алгоритмов реальных пользовательских программ (алгоритмы регулирования, ТЗиБ и т.д.)
- Моделирование неисправностей контроллерного оборудования:
 - неисправности или недостоверности входов и выходов
 - неисправности модулей ввода-вывода
- Моделирование работы серверов БД АСУ ТП со 100%-ным повторением алгоритмов сбора и обработки данных (сбор и накопление данных, алгоритмы обработок на достоверность, нарушение границ сигнализации и т.д.)
- Моделирование станций оператора со 100%-ным повторением графического интерфейса.

Вспомогательные функции тренажера

- Самодиагностика комплекса технических и программных средств
- Оперативная перенастройка системы и реконфигурация программного обеспечения АСУ ТП с использованием штатной для АСУ ТП среды разработки
- Регистрация пользователя, осуществляющего вход в систему.

Специализированные функции тренажера котлотурбинного цеха

Тренажер КТЦ позволяет:

- изучать влияние настроечных параметров автоматических регуляторов на характеристики переходных процессов и нарабатывать навык оптимальной настройки регуляторов
- нарабатывать навык проверки технологических защит как на остановленном технологическом оборудовании (с воздействием на арматуру), так и без останова технологического процесса (на сигнал)
- изучать алгоритмы работы существующих систем автоматического регулирования (САР) и технологических защит и блокировок (ТЗиБ)
- нарабатывать навык отыскания дефектов в ПАК ПТК КРУГ-2000, а также подсистемах САР и ТЗиБ.

Специализированные функции тренажера электроцеха

Тренажер ЭЦ позволяет:

- получить опыт и навыки правильного выполнения плановых и аварийных переключений (рис. 9 и 10)
- изучить главную электрическую схему и элементы управления схемой.

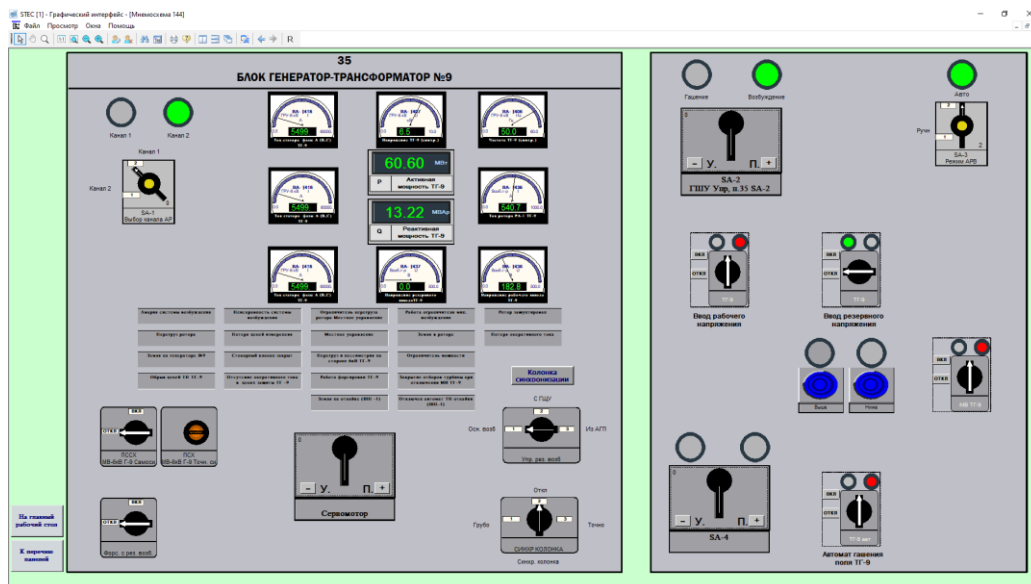


Рис. 9. Панель управления генератором № 9

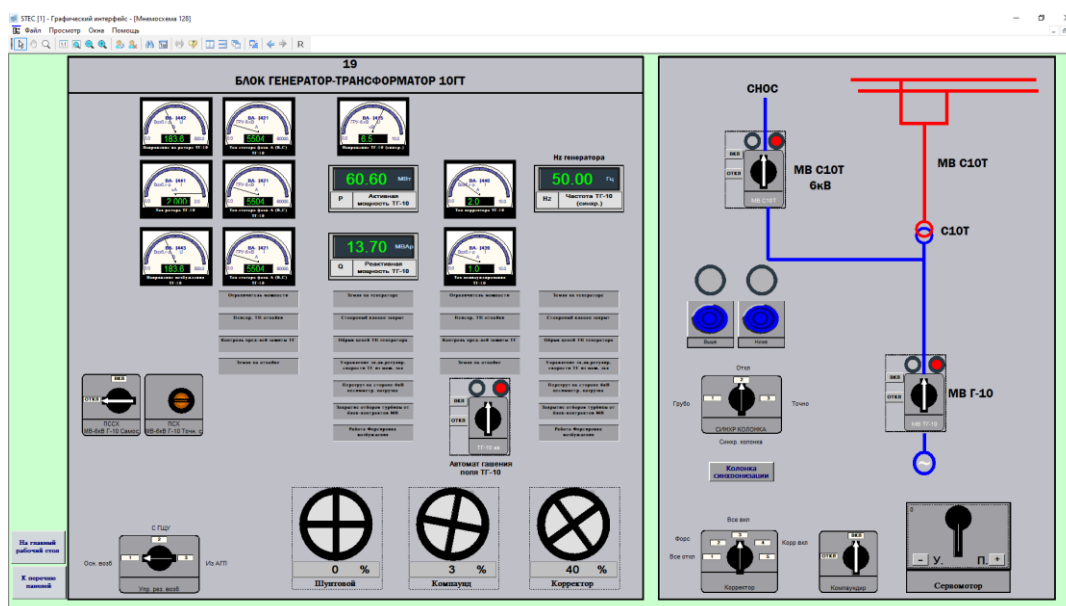


Рис. 10. Панель управления генератором № 10

Состав ПО тренажерного комплекса

- Среда разработки. Позволяет создать базу данных (БД) системы, графические интерфейсы операторов и алгоритмы пользователя, аналогичные используемым в реальных системах автоматизации, настраивать функции тренажера, создавать компьютерные модели объектов на основании математических моделей.
- Система реального времени, имитирующая работу SCADA-системы. Алгоритмы работы и графические интерфейсы операторов полностью повторяют работу реальной системы.
- Программное обеспечение «Имитатор системы реального времени контроллера». Служит для имитации работы реальных контроллеров в АСУ ТП, а также для реализации несложных компьютерных моделей объектов управления с использованием типовых динамических звеньев, таких как запаздывание, апериодические звенья, интегратор и т.д.
- Программное обеспечение (сторонних разработчиков) для создания модели объекта.

Применяется при высоких требованиях к точности модели, использовании для описания объекта математических моделей с распределенными параметрами, вычисление которых требует больших ресурсов и т.д.

- АРМ инструктора. Программное обеспечение, используемое для администрирования, управления, протоколирования и оценивания процесса обучения.

Структура тренажера

Тренажеры, выполненные на базе КТК ТРОПА, могут повторить большинство из известных структур АСУ ТП, включая клиент-серверные архитектуры, многосерверные системы, системы, имеющие в своём составе многомониторные АРМ оператора и экраны коллективного пользования, и т.д. (рис. 11, 12).

При небольшой информационной мощности тренажера все его компоненты могут размещаться на одном компьютере, однако чаще всего в тренажерных комплексах используются аналогичные реальным трехуровневые структуры.

1-й (нижний) уровень системы может быть представлен детерминированной математической моделью объектов управления на базе программного обеспечения сторонних разработчиков. Математическое моделирование технологического процесса в данном случае осуществляется на основе решения систем нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих физические процессы тепло- и массообмена, химической кинетики, фазовых переходов, теплового и материального баланса системы, движения материальных сред, гидравлики и гидродинамики и т.д. Данная модель обеспечивает расчет параметров установок во всех режимах функционирования, включая аварийные ситуации и пусковые операции. КТК ТРОПА также предоставляет возможность создания математической модели на базе собственных программных средств с использованием типовых динамических звеньев (интегрирование, запаздывание, дифференцирование и т.д.). Параметры таких моделей получаются в результате обработки статистической информации, отражающей штатную эксплуатацию агрегата. Точность таких моделей в аварийных и переходных режимах существенно ниже.

Во 2-й (средний) уровень системы входят:

- виртуальные имитаторы промышленных контроллеров АСУ ТП
- вспомогательные виртуальные контроллеры, имитирующие ввод-вывод сигналов от неавтоматизированного оборудования с ручным управлением, а также алгоритмы технологических защит, блокировок и регулирования, реализованные в существующих системах на традиционных средствах (релейные схемы, интеллектуальные приборы и т.д.)
- устройства и линии связи, обеспечивающие обмен информацией в цифровом виде.

Имитаторы контроллеров запускаются в виде «виртуальных машин» на компьютерах соответствующих серверов АСУ ТП.

Имитатор контроллера реализует функции контроллера реальной АСУ ТП. В случае наличия в системе нескольких контроллеров (например, контроллеров подсистем ТЗиЗБ, регулирования и т.д.), в тренажере также создаются несколько имитаторов контроллеров. По каждому из них можно имитировать отказ, неработоспособность отдельных модулей ввода /вывода и каналов и т.д.

Имитатор контроллера обеспечивает обмен данными с моделью объекта (выдача команд управления на исполнительные механизмы и опрос датчиков измеряемых параметров), а также установку начальных значений переменных, получаемых от системы обучения при инициализации тренировки и отработке сценариев.

В 3-й (верхний) уровень системы входят:

- АРМ инструктора, на котором установлены графический клиент КТК ТРОПА, среда разработки прикладного программного обеспечения для КТК ТРОПА и программное обеспечение «АРМ инструктора».
- АРМ обучаемого (оператора, нач. смены и т.д.), на котором устанавливаются графические интерфейсы с управлением, серверы базы данных и дополнительное вспомогательное ПО.

На АРМ инструктора возможно выполнение следующих функций:

- общее управление функциями тренажера
- запуск сценариев, обеспечивающих формирование начального состояния объекта и алгоритмов управления контроллера
- формирование событий (штатных и аварийных)
- запуск модуля оценки, обеспечивающего контроль состояния модели и выполненных учеником действий, формирующего итоговую оценку и сигнал об окончании тренировки (при окончании или «провале»)
- визуальный контроль действий ученика
- формирование отчетов об экзаменах и тренировках
- разработка новых сценариев.

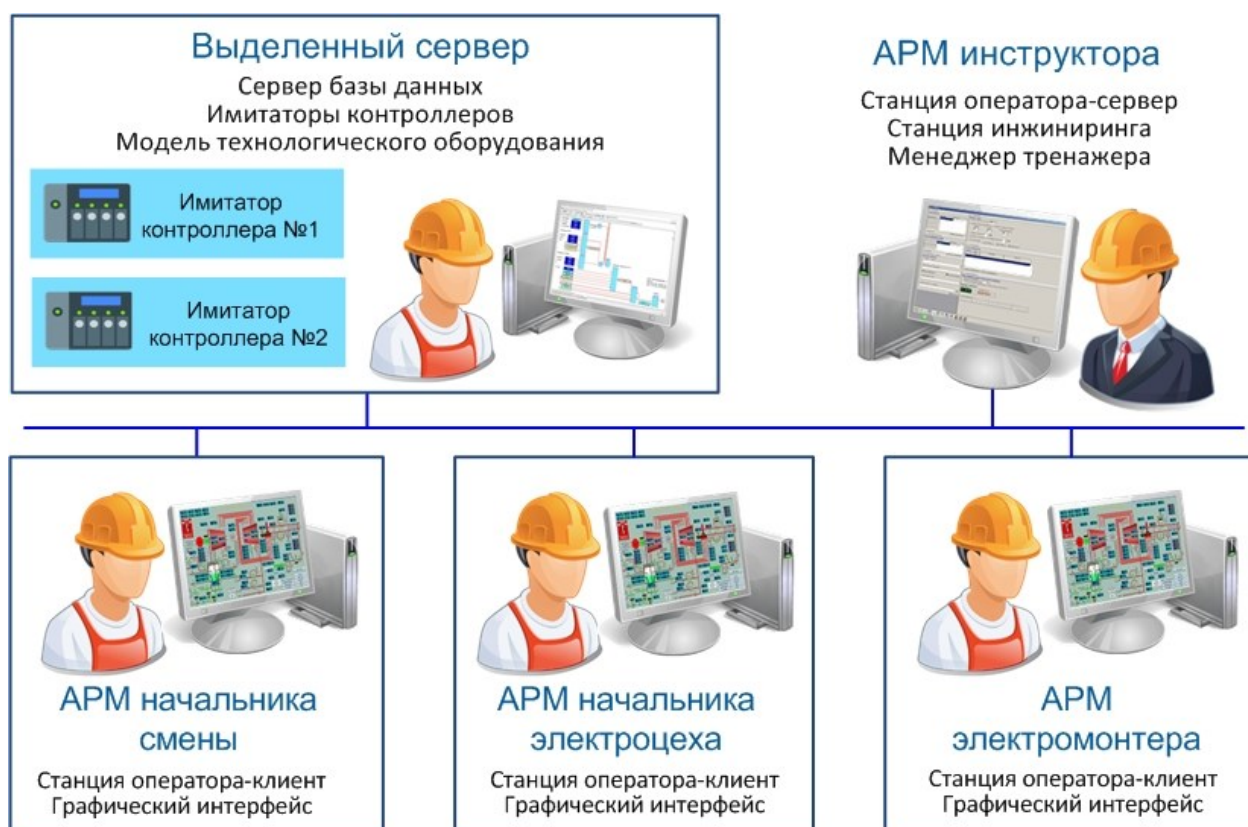


Рис. 11. Общая структура тренажера ЭЦ

Одна из основных задач при создании тренажерного комплекса – сделать интерфейс оператора максимально приближенным к интерфейсу рабочей станции, действующей в реальной АСУ ТП. По этой причине интерфейс оператора и алгоритмы пользователя для тренажера разрабатываются с использованием среды разработки SCADA КРУГ-2000®, входящей в состав ПАК ПТК КРУГ-2000, применяемого для создания систем автоматизации промышленных объектов во многих отраслях промышленности.



Рис. 12. Общая структура тренажера КТЦ

Преимущества КТК ТРОПА

Использование для разработки тренажеров программного обеспечения, применяемого в реально функционирующих АСУ ТП, дает следующие преимущества:

- Полное совпадение интерфейсов оператора и функционала SCADA с действующей АСУ ТП
- Полное совпадение встроенных алгоритмов системы реального времени контроллера и алгоритмов пользователя с алгоритмами АСУ ТП
- Полное совпадение текстов сообщений и признаков сигнализаций тренажера и АСУ ТП
- Идентичность структуры и протоколов обмена между контроллерами и SCADA-системой в тренажере и АСУ ТП
- Сокращение сроков разработки тренажера за счет использования в нем графических интерфейсов, базы данных и программ пользователя реальной АСУ ТП
- Удобство создания и корректировки графического интерфейса, базы данных и программ пользователя тренажера за счет использования универсального программного продукта SCADA КРУГ-2000®. Для создания тренажера с использованием тренажерного комплекса не требуются знания профессиональных программистов
- Заказчик получает продукт с инструментом, позволяющим ему собственными силами вносить изменения в пользовательское программное обеспечение тренажера.

Данные преимущества позволяют пользователю, с одной стороны, поднять качество обучения операторов на новый уровень за счет идентичности тренажера и реальной АСУ ТП, с другой – уменьшить свою зависимость от производителя тренажера при добавлении нового функционала, который может появляться в процессе модернизаций и ремонтов реальной АСУ ТП.

Список литературы:

1. Программно-технический комплекс КРУГ-2000 [электронный ресурс]. URL: <https://www.krug2000.ru/products/ptk.html>
2. Компьютерный тренажёрный комплекс «Тропа» [электронный ресурс]. URL: <https://www.krug2000.ru/products/ppr/trenajer-operativnogo-personala.html>
3. Прошин А.И., Молянов Р.В. КТК ТРОПА – универсальное средство разработки тренажеров для операторов технологических установок // Информатизация и Системы Управления в Промышленности. 2019, №2, стр.19-21. URL: <https://isup.ru/articles/2/14077/>
4. Мыскин В. М. Шехтман М. Б. Цифровые двойники турбины, котла и АСУ ТП – ключевые компоненты динамического тренажера ТЭЦ. Опыт применения // ИСУП.2021 № 6(96) URL: <https://isup.ru/articles/6/17495/>
5. Молянов Р.В., Алимжанов А.К. Тренажёр для операторов котла БКЗ 160–100ГМ и турбоагрегата ПР–25–90/10/0,9 КТЦ Уфимской ТЭЦ–1 // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2021, № 9(146). URL: https://avite.ru/download/2021/%E2%84%969/nom_9_146_%D0%9C%D0%BE%D0%B%D1%8F%D0%BD%D0%BE%D0%B2_%D0%90%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B6%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2.pdf
6. Гурьянов Л.В., Долгушев И.В. Цифровые двойники - эффективный инструмент для подготовки персонала электростанций // Control Engineering Россия, 2020 #3 (87). URL: <https://controlengrussia.com/otraslevye-resheniya/e-lektroe-nergetika/cifrovye-elektrostantsij/>



НПФ «КРУГ»

440028, Россия, г. Пенза, ул. Германа Титова, 1

Тел.: +7 (8412) 499-775 (многоканальный)

E-mail: krug@krug2000.ru

www.krug2000.ru