

**ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

- АСУ ТП котлоагрегатов / турбогенераторов
- АСУ ТП ТЭЦ / ТЭС / ПГУ / ГТУ / ГРП
- Компьютерные тренажерные комплексы

**ТЕПЛОСЕТИ**

- Система диспетчерского управления теплоснабжающей компании
- АСУ ТП котельных, насосных станций, теплопунктов

**ЭЛЕКТРОСЕТИ**

- Система диспетчеризации и учета энергопотребления электросетевой / энергосбытовой компании

**УЧЕТ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ**

- АИСКУЭ / АИСТУЭ / Комплексный учет энергоресурсов / Телемеханика

**ЗАКАЗЧИКИ**



**29 лет** на рынке  
промышленной автоматизации

**900+** проектов  
автоматизации

**500+** проектов автоматизации  
объектов энергетики и теплосетей



«КРУГ» НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА  
Тел. +7 (8412) 499-775, многоканальный  
krug@krug2000.ru

[www.krug2000.ru](http://www.krug2000.ru)



# Цифровые двойники турбины, котла и АСУ ТП – ключевые компоненты динамического тренажера ТЭЦ. Опыт применения



Рассматривается внедрение тренажера для операторов котла и турбины ТЭЦ, созданного на базе компьютерного тренажерного комплекса ТРОПА. Приведено описание его структуры, преимуществ и особенностей.

НПФ «КРУГ», г. Пенза

Одна из актуальных тем в энергетической отрасли – использование компьютерных тренажерных комплексов (КТК) на базе цифровых двойников технологических объектов [1] для повышения квалификации оперативного персонала, а также его психологической устойчивости при действиях в нештатных ситуациях.

Повышение уровня безопасности производства, надежности и безотказности работы оборудования – стратегический курс руководства Башкирской генерирующей компании (входит в группу «Интер РАО»). В компании

успешно реализуется программа оснащения предприятий тренажерными комплексами для операторов технологического оборудования.

На Ново-Стерлитамакской ТЭЦ был введен в эксплуатацию тренажерный комплекс (рис. 1), цифровой моделью которого охвачено все автоматизированное оборудование, а также существующая неэлектрифицированная арматура парового котлоагрегата БКЗ-420-140 НГМ ст. № 4, турбоагрегата ПТ-60-130/13 ст. № 1 и общестанционного оборудования. Существующая АСУ ТП данного оборудования

выполнена на базе программно-технического комплекса КРУГ-2000® [2].

Ново-Стерлитамакская ТЭЦ является основным источником тепловой энергии для системы централизованного теплоснабжения города Стерлитамака. Установленная электрическая мощность – 255 МВт, или 5% от общей мощности электростанций региона, тепловая – 1511,2 Гкал/ч.

Цифровой двойник реальной АСУ ТП предоставляет интерфейс взаимодействия оперативного персонала с объектом управления (рис. 2, 3) и моделирует работу средств автома-



Рис. 1. Компьютерный тренажерный комплекс Ново-Стерлитамакской ТЭЦ

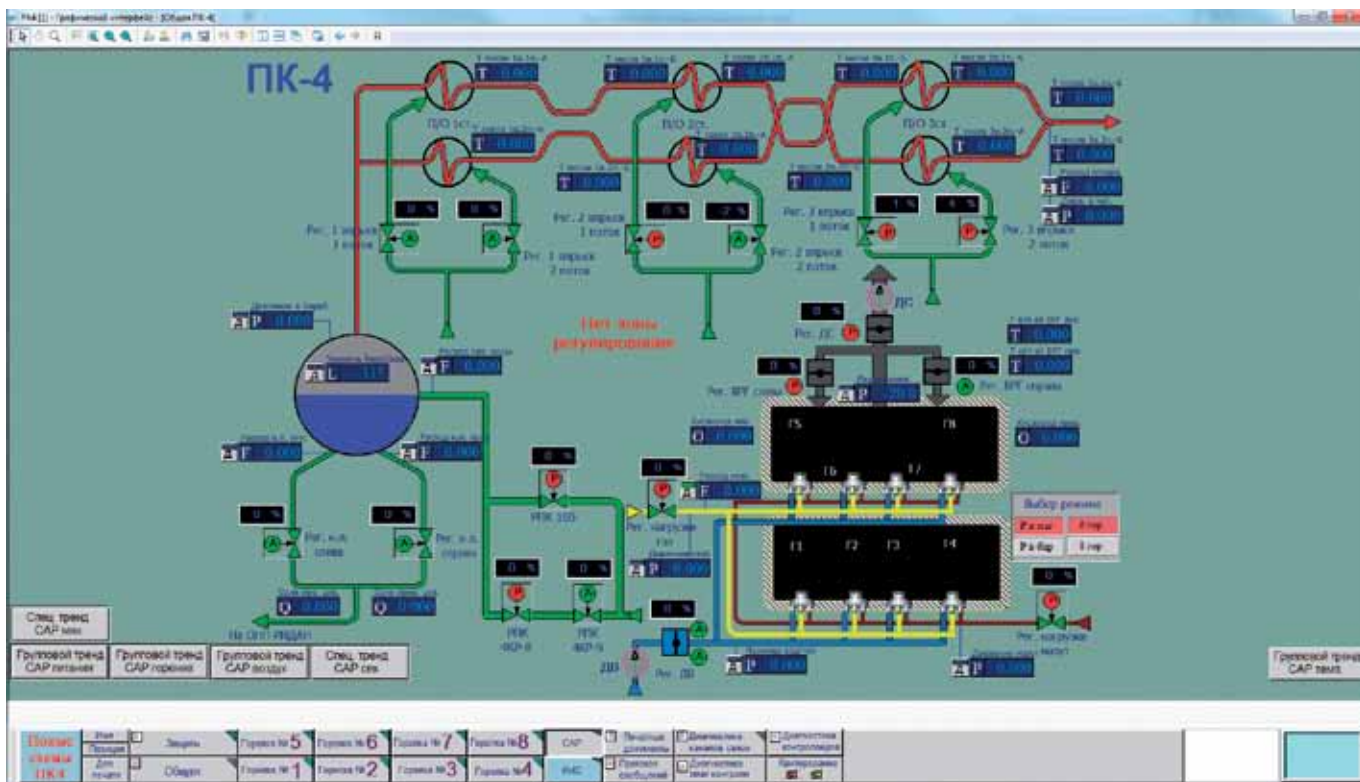


Рис. 2. Главное окно графического интерфейса тренажера АСУ ТП котла

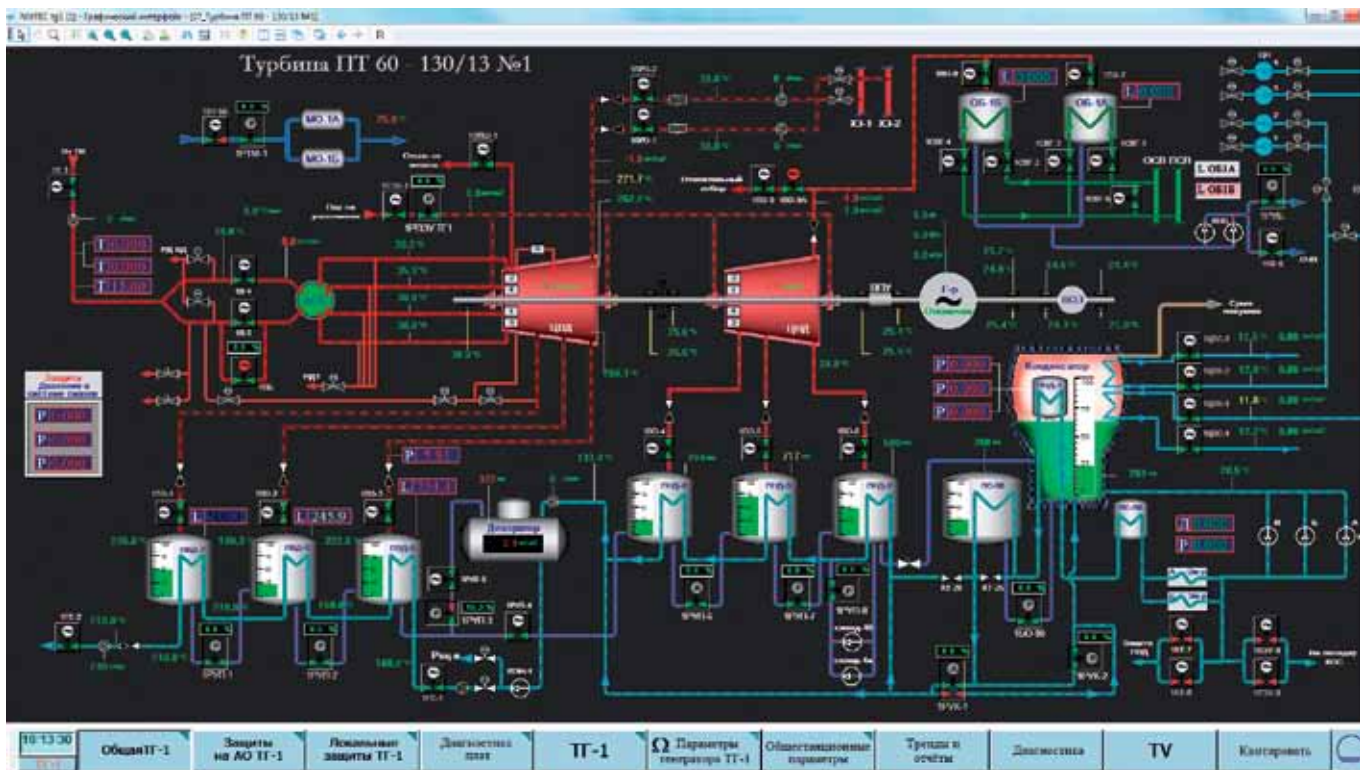


Рис. 3. Главное окно графического интерфейса тренажера АСУ ТП турбины

тизации и их алгоритмов на основе математической модели.

#### Назначение и цели

Тренажер предназначен для следующих задач:

- ▶ проведения как совместных, так и отдельных тренировок операторов котла и турбины;
- ▶ проведения экзаменов с выставлением оценки и формированием экзаменационного протокола.

Основные цели создания тренажера:

- ▶ подготовка оперативного персонала различного уровня квалификации:
  - начальное обучение;

- поддержание навыков управления технологическим процессом;
- повышение квалификации персонала;
- ▶ выработка навыков безопасно и экономичного управления оборудованием, в том числе в сложных переходных режимах связки «котел – турбина»;
- ▶ повышение психологической устойчивости оперативного персонала во время нештатных ситуаций;
- ▶ снижение значения человеческого фактора и, как следствие, повышение уровня безопасности, надежности, безотказности работы оборудования, сохранности имущества, здоровья и жизни персонала;
- ▶ оценка профессиональной квалификации оперативного персонала, в том числе его умения управлять оборудованием в сложных режимах в соответствии с требованиями правил технической эксплуатации (ПТЭ) и производственных инструкций.

#### Архитектура

Компьютерный тренажер котла БКЗ-420-140 НГМ ст. № 4 и турбины ПТ-60-130/13 ст. № 1 Ново-Стерлитамакской ТЭЦ выполнен с использованием компьютерного тренажерного комплекса ТРОПА® и полностью соответствует тепловой схеме основного технологического оборудования (рис. 4).

КТК ТРОПА® [2] позволяет создавать цифровые тренажеры различных структур. Например, в данном тренажере моделирование работы технологического оборудования осуществляется на виртуальном контроллере

(имитаторе СРВК) посредством языка КРУГОЛ™, что позволит заказчику в будущем с легкостью адаптировать модель тренажера к возможным изменениям техпроцесса.

Тренажер имеет трехуровневую архитектуру.

Первый (нижний) уровень системы представлен математической моделью объектов управления, включающей в себя:

- ▶ модель технологических агрегатов котла ст. № 4;
- ▶ модель технологических агрегатов турбины ст. № 1 и общестанционного оборудования.

Математическая модель реализована на базе прикладного программного обеспечения КТК ТРОПА и работает в имитаторе контроллера. Имитатор контроллера запускается в виде виртуальной машины на сервере модели тренажера.

Во второй (средний) уровень системы входят:

- ▶ виртуальные имитаторы реальных контроллеров, работающих в существующих АСУ ТП, включая контроллеры подсистем технологических защит, блокировок и регулирования;
- ▶ устройства и линии связи, обеспечивающие обмен информацией в цифровом виде.

Имитаторы реальных контроллеров запускаются в виде виртуальных машин на АРМ машиниста котла и АРМ машиниста турбины.

В третий (верхний) уровень системы входят:

- ▶ АРМ инструктора, на котором установлены графический клиент КТК ТРОПА и программное обеспечение «АРМ инструктора», выпол-

няющее функции общего управления тренажером;

▶ АРМ оператора-машиниста АСУ ТП котла № 4 на базе КТК ТРОПА (4-мониторный);

▶ АРМ оператора-машиниста АСУ ТП турбины № 1 на базе КТК ТРОПА (4-мониторный).

Для максимального приближения тренировочного процесса на компьютерном тренажерном комплексе к условиям работы с реальным оборудованием в состав тренажера были добавлены интерактивные пульта управления, полностью повторяющие реальные панели управления.

#### Основные особенности

Компьютерный тренажер разработан с учетом особенностей действующих АСУ ТП котла и турбины, с повторением динамических мнемосхем и алгоритмов управления, автоматического регулирования, а также технологических защит и блокировок, реализованных на базе ПТК КРУГ-2000. Применяемые в составе тренажера пульта управления в точности повторяют пульта на объекте, что позволяет оператору работать на тренажере как с реальной АСУ ТП. Это обеспечило 100-процентное совпадение функциональности тренажера и реальной АСУ ТП, то есть совпадает не только мнемосхема на экране, но и различные вспомогательные окна, приборы управления, протокол сообщений, принципы работы сигнализации, регистрация в системе и т. д.

Такой подход имеет ряд преимуществ при обслуживании и модернизации тренажера, так как среда разработки КТК ТРОПА аналогична среде разработки SCADA КРУГ-2000, с которой хорошо знакомы специалисты БГК. Таким образом, они могут самостоятельно вносить изменения в модель АСУ ТП тренажера без привлечения специалистов разработчика.

В то же время тренажер не только полностью повторяет существующую АСУ ТП, но и обладает специализированными функциями, такими как:

- ▶ работа системы в темпе управляемого «модельного» времени с функциями:
  - приостановки и возобновления хода времени;
  - ускорения/замедления хода и «перемотки» времени в пре-



Рис. 4. Структурная схема компьютерного тренажерного комплекса

Таблица 1. Информационная мощность КТК ТРОПА

Объекты моделирования Ново-Стерлитамакской ТЭЦ	Количество объектов	
	Котел ст. № 4	Турбина ст. № 1
Технологические параметры	1710	1119
Запорно-регулирующая арматура	301	163
Технологические защиты	35	17

делах имеющейся истории тренировок;

- ▶ создание, сохранение и последующая загрузка требуемых для проведения тренировок «исходных состояний» модели;

- ▶ создание, сохранение и 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 с отображением данных непосредственно на мнемосхемах модели АСУ ТП;

- возобновления тренировки из любой промежуточной точки имеющейся истории;

- сохранения и загрузки истории тренировки для просмотра ее хода, анализа ошибочных действий и «работы над ошибками» (повторение тренировки из точки, предшествующей ошибочным действиям).

Информационная мощность КТК ТРОПА отражена в табл. 1.

В ходе разработки тренажера исходные проекты АСУ ТП дополнены технологическими параметрами и арматурой, не входящими в состав реальных АСУ ТП на базе ПТК КРУГ-2000, но участвующими в процессе управления котлом и турбиной (ручная арматура, местные показывающие приборы, релейные схемы защиты и т. д.).

Тренажер предполагает как общие, так и отдельные тренировки машинистов котла и турбины. Для обеспечения возможности проведения отдельных тренировок предусмотрены стартовые исходные состояния, запускающие тренажер в режиме работы турбоагрегата от общестанционного парового коллектора, а также состояния с работой парового котла на общий коллектор (режимы работы с перекрестными связями).

#### Организация работ

Специалистами НПФ «КРУГ» выполнены следующие работы:

- ▶ разработка модели АСУ ТП тренажера;

- ▶ поставка программного обеспечения;

- ▶ инжиниринговые работы по модели АСУ ТП тренажера;

- ▶ пусконаладочные работы по модели АСУ ТП тренажера.

В ряду электростанций, на которых компания «КРУГ» установила тренажеры для операторов теплоэнергетического оборудования БГК:

- ▶ Уфимская ТЭЦ-1 (котел БКЗ 160-100 ГМ, турбина ПР-25-90/10/0,9);

- ▶ Уфимская ТЭЦ-2 (котел БКЗ Е-320-140 ГМ, турбина ПТ-65/75-130/13);

- ▶ Уфимская ТЭЦ-4 (котел БКЗ-320-140 ГМ, турбина ПТ-65/75-130/13);

- ▶ Стерлитамакская ТЭЦ (котел ТГМ-84 (Е420/140 ГМ), турбина ПТ-60-130/13);

- ▶ Зауральская ТЭЦ (электростанция ГТЭС-16 ПА);

- ▶ Уфимская ТЭЦ-3 (котел Е-230-100 ГМ, турбина ПТ-30-90/10).

Тренажеры для персонала цехов АСУ ТП успешно эксплуатируются с 2018 года в таких филиалах Башкирской генерирующей компании, как Приуфимская ТЭЦ, Стерлитамакская ТЭЦ, Салаватская ТЭЦ, Уфимские ТЭЦ-4, ТЭЦ-3, ТЭЦ-2 и ТЭЦ-1.

#### Заключение

Полученный практический опыт ввода тренажера в эксплуатацию показал эффективность подхода, когда в качестве цифровой модели АСУ ТП используется тренажерный комплекс, построенный на базе реального программно-технического комплекса, применяемого для создания реальной АСУ ТП. Этот подход более эффективен, чем вариант построения тренажера, при котором поведение АСУ ТП имитируется путем создания на языках программирования высокого уровня «цельнотянутых» приложений, моде-

лирующих интерфейс технологических программ. Такой вариант реализации тренажера не в полной мере отражает поведение реальной АСУ ТП.

Подход, применяемый в КТК ТРОПА [3], позволяет на 100 % повторить функциональность системы управления и таким образом сформировать правильные навыки операторов при работе с ней. Наличие среды разработки графического интерфейса, базы данных АСУ ТП и программ пользователя дают возможность заказчику самостоятельно вносить изменения в ПО тренажера и не зависеть от поставщика тренажерного комплекса. Возможность тренажера осуществлять сбор и просмотр оперативной информации о правильности действий оператора позволяет проводить как тестирование, так и полноценное обучение персонала.

КТК ТРОПА внесен в единый реестр российского ПО при Министерстве цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации под № 8669.

#### Литература

1. Гурьянов Л. В., Долгушев И. А. Цифровые двойники – эффективный инструмент подготовки персонала электростанций // ControlEngineering Россия. 2020. № 3.

2. Программно-технический комплекс КРУГ-2000 // НПФ КРУГ: [сайт]. URL: <https://www.krug2000.ru/products/ptk.html> (дата обращения: 03.11.2021).

3. Компьютерный тренажерный комплекс ТРОПА // НПФ КРУГ: [сайт]. URL: <https://www.krug2000.ru/products/ppr/trenajer-operativnogo-personala.html> (дата обращения: 03.11.2021).

4. Прошин А. И., Молянов Р. В. КТК ТРОПА – универсальное средство разработки тренажеров для операторов технологических установок // ИСУП. 2019. № 2.

Р. Ф. Фархутдинов, заместитель главного инженера,

А. А. Шорсткин, заместитель главного инженера,

М. Р. Сабитов, заместитель начальника КТЦ,  
В. А. Шейко, заместитель начальника КТЦ,  
Ново-Стерлитамакская ТЭЦ, Республика Башкортостан;

М. Б. Шехтман, к. т. н., председатель совета директоров,

В. М. Мыскин, инженер по АСУ ТП,  
НПФ «КРУГ», г. Пенза,  
тел.: +7 (8412) 499-775,  
e-mail: [krug@krug2000.ru](mailto:krug@krug2000.ru),  
сайт: [www.krug2000.ru](http://www.krug2000.ru)