



РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА КИПиА И ЕЕ ИНТЕГРАЦИЯ С КОМПЬЮТЕРНЫМ ТРЕНАЖЕРОМ ТЭС

**А.В. Голубев, И.К. Муравьев, А.Н. Никоноров, Ю.В. Наумов (ФГБОУВО ИГЭУ им. В.И. Ленина),
А.С. Обуваев (ООО «Тренажеры для электростанций»),
Е.С. Целищев (ЗАО «СиСофт Девелопмент»)**

Представлены разработанные компьютерные модели полевой зоны АСУТП энергетических объектов с применением технологий визуализации для обучения оперативного, ремонтного и оперативно-ремонтного персонала группы (службы) контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА) и интеграции разработанной системы с компьютерным тренажером тепловой электростанции (ТЭС).

Приводятся результаты, которые позволяют: проводить комплексное обучение персонала КИПиА блока ТЭС по решению задач управления, обслуживания, поиска и устранения неисправностей средств КИПиА; с использованием технологий визуализации обучать персонал КИПиА всему спектру обслуживания приборов и исполнительных механизмов; в том числе, осмотру оборудования, продувке импульсных линий датчиков, проверке датчика на ноль, протяжке контактов на датчике, настройке концевых выключателей на исполнительных механизмах, прокрутке, диагностике оборудования, замене, снятию, настройке датчиков и др.; а также проводить аттестацию оперативного, ремонтного и оперативно-ремонтного персонала КИПиА.

Ключевые слова: система обучения персонала, КИПиА, компьютерные тренажеры, операторский интерфейс, модель объекта, имитационное моделирование.

Введение

Развитие АСУТП энергетических комплексов обусловлено появлением новых видов энергетического оборудования, новыми техническими требованиями, предъявляемыми к их системам управления, и общими тенденциями развития компьютерных средств управления. Так, в последние несколько десятилетий широко применяются компьютерные тренажеры для подготовки оперативного, обслуживающего и ремонтного персонала тепловых и атомных электростанций (ТЭС и АЭС). Данный подход успешно доказал свою эффективность и востребованность на практике [1-4].

Одним из направлений успешного повышения эффективности эксплуатации современных АСУТП и оборудования при модернизации (реконструкции) действующих ТЭС и АЭС является повышение качества обучения и натренированности оперативного и ремонтного персонала, постоянное поддержание его профессиональных навыков на уровне, обеспечивающем резкое снижение отказов и аварий по его вине [2, 3].

Анализ существующих на ТЭС и АЭС систем подготовки [4-8] свидетельствует о том, что главной причиной ошибок в работе является неудовлетворительная организация подготовки работников из числа оперативного и ремонтного персонала.

В то же время возможности и доступность информационных технологий показывают, что кардинальное решение проблемы повышения качества подготовки персонала возможно, прежде всего, при помощи средств всесторонней компьютеризации: обучения, проверки знаний, противоаварийного тренажа, информационного обеспечения [2].

В России тренинг оперативного персонала технологических процессов строго предписан Ростехнадзором; ни одно крупное строительство или модернизация в российском комплексе не обходятся без тренажерного проекта [4]. Так, в Приказе Минэнерго от 22.09.2020 г. № 796 «Об утверждении Правил работы с персоналом в организациях электроэнергетики РФ» в разделе 13 говорится, что для вводимых в работу новых и реконструируемых объектов электроэнергетики должно осуществляться опережающее обучение персонала. При этом специальную подготовку проводят за счет тренировок, в том числе с использованием учебно-тренажерных средств (программно-технических средств подготовки персонала, включая автоматизированные обучающие системы, тренажеры, стенды и полигоны).

Использование тренажеров позволяет операторам набирать практические навыки в нештатных ситуациях, то есть при аномальном развитии событий.

При этом в настоящее время рабочее место оператора-технолога в тренажере уже приближено к реальному

рабочему месту и, тем самым, отчасти уже обеспечивает его практическое обучение и подготовку, а проблема с обучением персонала, работающего на «полевом» уровне, остается вообще не решенной.

Основная задача оперативного персонала КИПиА связана с обслуживанием физических устройств, рассредоточенных по технологической площадке, а именно: текущим обслуживанием средств КИПиА, периодической проверкой их исправности, выполнением монтажных и наладочных работ. При этом оперативный и ремонтный персонал, отслеживающий неисправности «в поле», имеет дело с внешними факторами: условиями видимости, шумами, вибрацией, запахами, необходимостью работы на высоте, в защитной одежде и с защитным оборудованием. В этих условиях решать должностные обязанности крайне сложно. Обучение данным навыкам через стандартные интерфейсы управления технологическими процессами, реализованные в известных компьютерных тренажерах, не позволяет полностью погрузить обучаемого в рабочую среду. При этом с каждым годом интерес потенциальных пользователей к более продвинутым интерфейсам полевого уровня становится все заметней [5,8].

Цель работы заключается в виртуальном моделировании полевой зоны КИПиА с применением технологий визуализации для обучения оперативного и ремонтного персонала КИПиА и интеграции разработанной подсистемы с компьютерными тренажерами ТЭС и АЭС.

Для достижения данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1) разработать методику создания модульной системы обучения персонала КИПиА. Данный подход позволит включить подсистему обучения КИПиА в различные тренажеры как в небольшие – с отдельными технологическими участками и задачами управления, так и в полномасштабные тренажерные комплексы энергоблоков ТЭС и АЭС;

2) разработать модели устройств полевой зоны (датчиков, исполнительных механизмов и др.), схемы их подключения, функционирующие в режиме реального времени, с расширенной функциональностью по взаимодействию с ними, с возможностью вмешательства в элементы и схему путем подключения различного рода измерительных приборов, а также смоделировать типовые неисправности элементов оборудования;

3) разработать визуальный интерфейс обучаемого по взаимодействию с моделью устройств полевой зоны, широко используя возможности современных технологий визуализации: «плоской»

(2D) и трехмерной (3D) для изучения и освоения профессиональных навыков, а также для более реалистичного погружения в профессиональную среду, в том числе с использованием технологий виртуальной и дополненной реальности;

4) проработать интерфейсы взаимодействия и интеграции моделей и интерфейсов полевого оборудования с тренажерами и моделями технологических процессов с обеспечением их взаимосвязанной работы.

Технология реализации тренажерного комплекса полевой зоны АСУТП

Примером отработки технологии реализации предлагаемого тренажерного комплекса полевой зоны АСУТП с «плоской» визуализацией интерфейса являлось внедрение данной подсистемы в состав действующего компьютерного тренажера энергоблока 300 МВт сверхкритического давления с газомазутным котлом ТГМП-314 производительностью 960 т/ч, конденсационной турбиной К-300-240 и генератором ТВВ-320.

Система обучения оперативного и ремонтного персонала КИПиА включена в состав тренажера ТЭС и работает на программно-аппаратных средствах сервера тренажера. Сервер тренажера работает под управлением ОС Linux. Доступ к рабочим местам тренажера осуществляется через браузер по протоколу https.

Средой разработки является прикладное программное обеспечение – «Программный комплекс «Система проектирования и реализации компьютерных тренажеров для оперативного персонала тепловых электростанций» (SIM-2000,

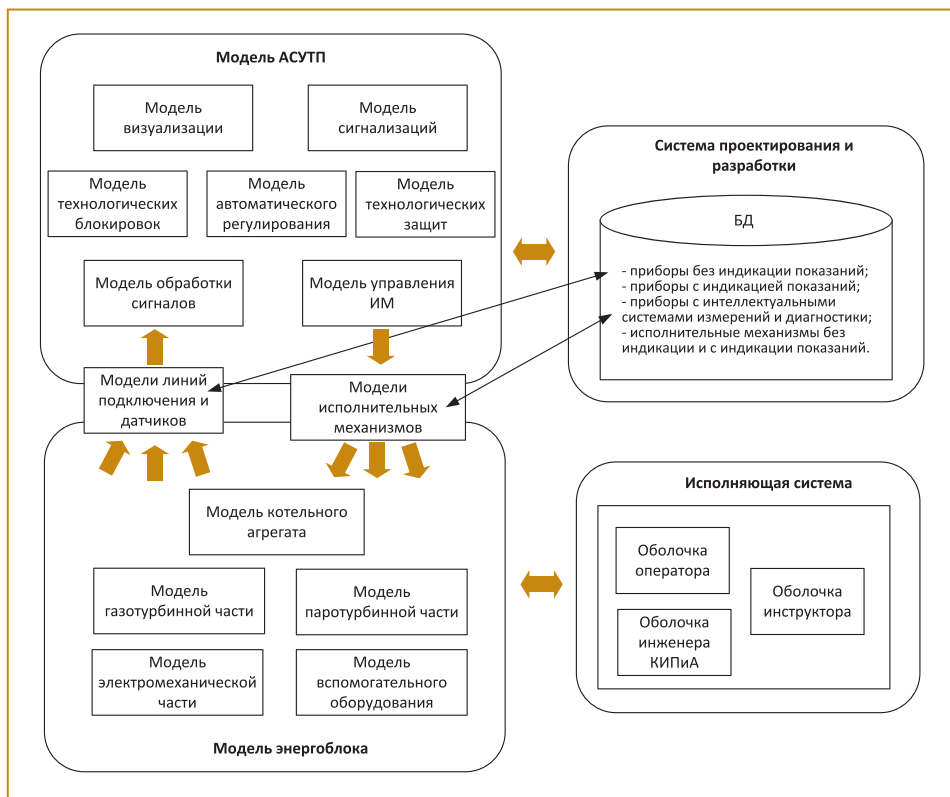


Рис. 1. Структура тренажерного комплекса с интегрированной подсистемой КИПиА

ARUBA, В.А. Рубашкин, свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2001610817 от 2 июля 2001 г.).

К отличительным особенностям SIM-2000 относятся [9]: простота и удобство написания математических моделей в редакторе Model's Editor и их отладка; высокая гибкость системы отображения информации, системы сбора информации и ее архивирования; простота привязки математических моделей к системе расчетов, системе отображения информации и системе реализации управляющих воздействий; возможность привязки к внешним визуальным интерфейсам по сетевым протоколам взаимодействия.

Общая структура тренажерного комплекса с интегрированной подсистемой КИПиА представлена на рис. 1.

В подсистеме обучения оперативного персонала КИПиА реализовано моделирование полевой и управляющей зоны АСУТП в следующем составе:

- датчики-термометры сопротивления с четырехпроводной схемой подключения (в реальном времени моделируются электрические сигналы от датчиков с соответствующими градуировками ТСП, ТСМ);
- датчики-термопары (моделируются электрические сигналы от датчиков с соответствующими градуировками ТХА, ТХК);
- датчики давления с унифицированным токовым сигналом (моделируются электрические сигналы от датчиков с унифицированными диапазонами 0...5, 0...20, 4...20 мА; реализованы схемы подключения датчиков с питанием как от программно-технического комплекса (ПТК), так и от внешнего блока питания (БП));
- датчики перепада давления с унифицированными токовыми сигналами (в реальном времени моделируются электрические сигналы от датчиков с унифицированными диапазонами 0...5, 0...20, 4...20 мА; реализованы схемы подключения датчиков с питанием от ПТК и от внешнего блока питания);
- электрические схемы управления приводами запорной и регулирующей арматуры (у обучаемого персонала КИПиА имеется возможность подключения измерительных приборов для контроля напряжения и тока по силовым и управляющим линиям подключения);
- автоматическое регулирование (позволяет в режиме реального времени менять законы регулирования, параметры настройки регуляторов, корректирующих регуляторов и устройств);
- функции технологических защит (позволяют в режиме реального времени изменять параметры настройки защит, переключать схемы каналов защит, настраивать каналы защит, тем самым имитировать неисправность защит и определять/вызывать ложные срабатывания).

Методика разработки системы обучения оперативного персонала КИПиА

Методика разработки системы обучения персонала КИПиА заключается в следующем.

Этап 1. Выделение из общей базы данных приборов энергообъекта различных типов устройств КИПиА и их классификация (структурирование) на типы:

- приборы без индикации показаний и с минимальными настроечными параметрами (термопары, термометры сопротивления и т.п.);
- приборы с индикацией показаний и дополнительными настроечными параметрами (датчики с настроечными диапазонами, линиями продувок и т.п.);
- приборы с интеллектуальными системами измерений и диагностики (датчики с HART-протоколами и т.п.);
- исполнительные механизмы без индикации и с минимальными настроечными параметрами;
- исполнительные механизмы с индикацией показаний и дополнительными настроечными параметрами.

Этап 2. Определение и согласование с заказчиком объема визуализации по каждому классу объектов и разработка моделей и интерфейсов приборов и устройств.

Этап 3. Разработка и внедрение новых сценариев, направленных на отработку действий персонала КИПиА станции в соответствии с производственными инструкциями, в том числе:

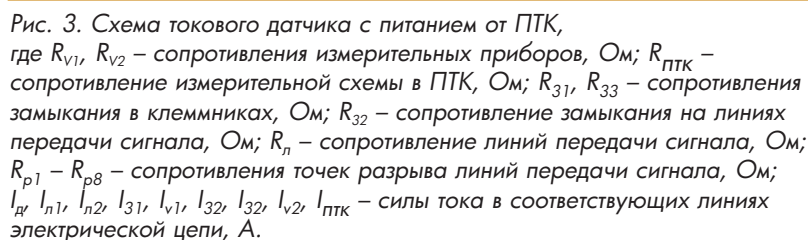
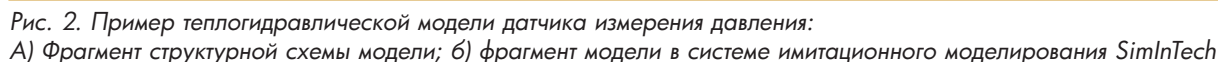
- возможность подключения в цепь измерительных приборов - вольтметра, амперметра и омметра;
- моделирование замыканий в клеммниках, разрывов в линиях подключения и питания;
- моделирование физических трубопроводов и клапанов подключения датчиков;
- моделирование функциональности по настройке и изменению параметров датчика;
- моделирование исполнительных механизмов, линий питания и связи, настройка конечных выключателей.

Реализация модели. Особенности интеграции моделей с компьютерным тренажером ТЭС

Модели устройств полевой зоны состоят из двух унифицированных составляющих: тепло-гидравлической модели среды и электро-технической модели подключения устройства.

Тепло-гидравлическая модель строится на основе законов неравновесной термодинамики в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих физические законы сохранения массы, количества движения и энергии. Состав и взаимосвязь уравнений определяется индивидуально для каждого типа датчика.

При этом, для каждого устройства учитываются конструктивные особенности как самого датчика, так и схемы его физического монтажа и подключения к измеряемой среде, а именно: импульсные линии, вентили, вентильные блоки, теплоизоляция и т.д. В тепло-гидравлическую модель также заложены типовые неисправности системы, такие как загрязнение импульсных линий, неисправность импульсных линий (свищ), инструментальные погрешности, обусловленные неправильной установкой и др. В качестве средства для отладки имитационных моделей выбрана отечественная среда разработки SimInTech, которая позволяет создавать модели технических систем, алгоритмы и интерфейсы систем управления. К достоинствам SimInTech относятся также следующие возможности [10]: создание кода для программируемых контроллеров и графических дисплеев;



В основу построения модели положены законы Ома и Кирхгофа. Модель построена в виде системы алгебраических уравнений, описывающих элементы электрической цепи: чувствительный измерительный преобразователь, линии подключения, клеммники, модуль устройства связи с объектом (УСО), узел преобразования сигнала и др.

Например, расчет сопротивления в точке контроля Rv1 осуществляется по формулам:

$$R_{V1} = \frac{R_1^4 R'_{\mathcal{I}}}{R_1^4 + R'_{\mathcal{I}}}.$$

Таблица. Фрагмент реализации цифровой модели расчета сопротивлений

Оператор	i1 (i4)	i2 (i5)	i3 (i6)	c1(c3)	c2 (c4)	out	Имя параметра
a	:Rt_л	:R_p7_л	:R_p8_л	:1	:0	:0	:Rt'_л
a2	:R_33_л	:R_p3_л	:R_p4_л	:1	:0	:1E+18	:R1_1_л
&	:Rл_верх_л	:Rл_низ_л	:0	:1	:0	:0	:
eres	:R1_1_л	:R_32_л	:0	:0	:0	:1E+18	:R1_2_л
a2	:R1_2_л	:R_p5_л	:R_p6_л	:1	:0	:1E+18	:R1_3_л
&	:Rл_верх_л	:Rл_низ_л	:0	:1	:0	:0	:
eres	:R1_3_л	:R_31_л	:0	:0	:0	:5E+17	:R1_4_л
eres	:R1_4_л	:Rt'_л	:0	:0	:0	:0	:R1_изм
...	...	...	...	...	...	...	...

В системе моделирования SIM-2000 данные формулы реализуются в цифровой модели следующим образом, представленном в таблице.

В примере расчета сопротивлений в рамках цифровой модели (таблица) задействованы следующие операторы:

1) однострочный арифметический оператор «a» с алгоритмом расчета: $c1*(i1+i2+i3)$;

2) двухстрочный арифметический оператор «a2» с алгоритмом расчета: $c1*(i1+i2+i3) + c3*(i4+i5+i6)$;

3) однострочный оператор «eres» расчета параллельного соединения сопротивлений с корректной обработкой разрывов линий (бесконечных сопротивлений).

Аналогичным образом был выполнен расчет и моделирование напряжений, токов и сопротивлений в точках подключения измерительных приборов и узлах преобразования электрических сигналов.

Визуализация и функциональные возможности системы обучения, интегрированной с компьютерным тренажером

Особенности реализации плоского интерфейса системы обучения персонала КИПиА в составе компьютерного тренажёра будут рассмотрены далее на примерах датчика расхода и системы управления приводом задвижки.

Вызов основного окна датчика расхода для системы обучения персонала КИПиА осуществляется из стандартного всплывающего окна датчика на мнемосхеме (рис. 4).

Обучаемые в этом окне имеют возможность: включить/отключить питание датчика; осуществить установку/демонтаж датчика; замкнуть/разомкнуть линию подключения к клеммникам датчика и ПТК; выполнить продувку импульсных линий, открыв клапаны продувки; подключить измерительные приборы (амперметры, вольтметры,

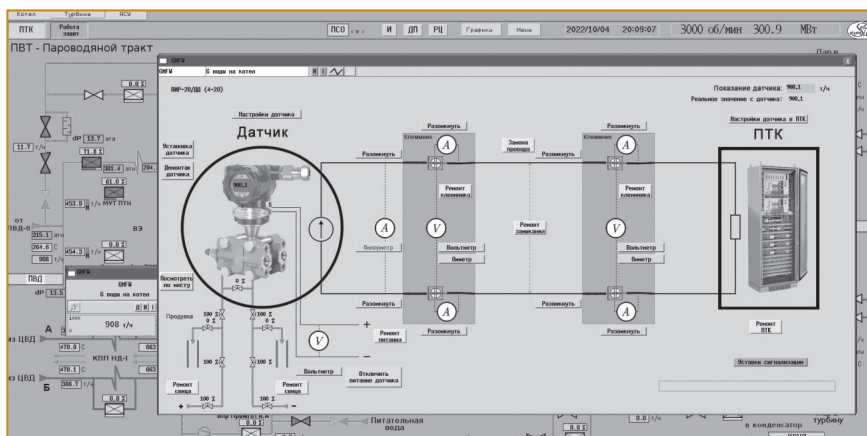


Рис. 4. Вид окна обучаемого для датчика расхода

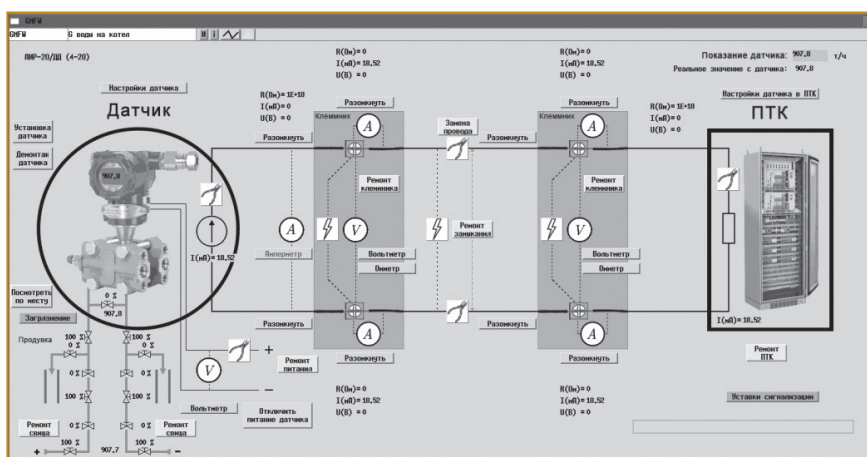


Рис. 5. Вид окна инструктора для датчика расхода

омметры) в показанных на схеме точках (пунктирные линии); произвести настройку токовых и физических диапазонов датчика, в том числе в алгоритмах ПТК (кнопки “Настройка датчика”); произвести настройку уставок сигнализации в алгоритмах ПТК (для датчика с сигнализациями); устранить неисправность, нажав на соответствующую кнопку ремонта.

Аналогичное окно с расширенной функциональностью, вызываемое инструктором, показано на рис.5.

Инструктор имеет дополнительные возможности: осуществлять обрыв линий (значок “кусачки”); вызывать

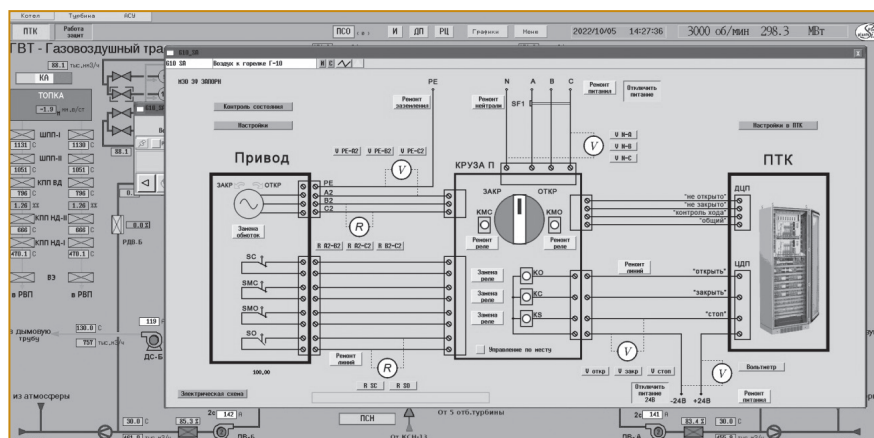


Рис. 6. Вид окна обучаемого для задвижки

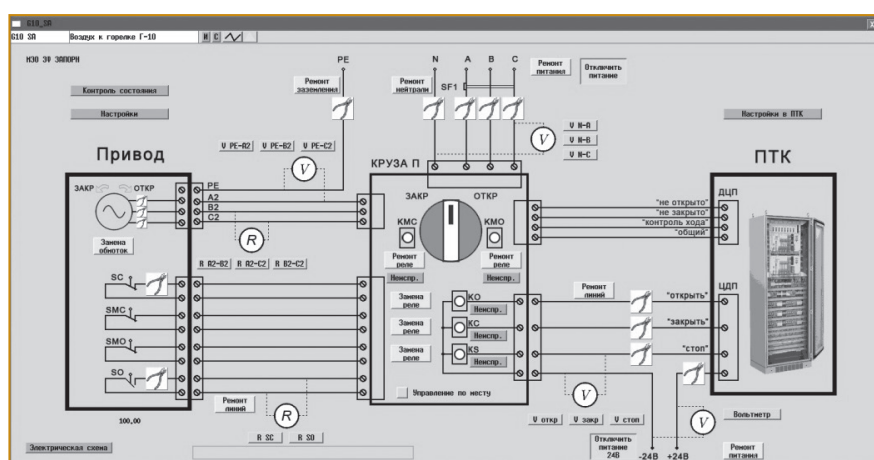


Рис. 7. Вид окна инструктора для задвижки

замыкание между линиями, в клеммниках (значок “молния”); имитировать свищи в импульсных линиях и др.

Таким образом обеспечиваются следующие возможности для обучения при работе с датчиком расхода:

1) обрыв электрических линий, проверка работоспособности линий подключения датчика, контроль сопротивлений линий, устранение неисправностей;

2) неисправность самого датчика, контроль и проверка его работоспособности, контроль токов в линиях, устранение неисправности;

3) замыкание между электрическими линиями, в клеммниках, поиск неисправности и ее устранение;

4) неисправность блока питания датчика (для датчика с внешним БП), контроль напряжений, устранение неисправности;

5) продувка и обслуживание импульсных линий, загрязнение импульсных линий, установка нуля, неисправность импульсных линий (свищ), устранение неисправности;

6) неисправность измерительного канала в ПТК, устранение неисправности;

7) несогласованная установка и настройка токовых и физических диапазонов датчика и алгоритмов в ПТК;

8) сбой настроек уставок сигнализаций в ПТК (для датчиков с сигнализациями).

Вызов основного окна задвижки для системы обучения персонала КИПиА осуществляется из стандартного

всплывающего окна задвижки на мнемосхеме (рис. 6).

Обучаемые в этом окне имеют возможность: включить/отключить питание задвижки; включить/отключить питание 220 В КРУЗА П; осуществлять управление задвижкой по месту; подключить измерительные приборы (вольтметры, омметры) в показанных на схеме точках (пунктирные линии); устранить неисправность, нажав на соответствующую кнопку ремонта.

Аналогичное окно, вызываемое инструктором, показано на рис. 7.

Инструктор имеет дополнительные возможности: осуществлять обрыв линий питания и управления (значок “кусачки”); имитировать неисправности управляющих и силовых реле и др.

Таким образом обеспечиваются следующие возможности для обучения при работе с задвижкой:

1) обрыв силовых линий, проверка работоспособности линий, устранение неисправностей;

2) обрыв управляющих линий, проверка работоспособности линий, устранение неисправностей;

3) неисправность питания и линий управляющих команд, проверка работоспособности, устранение неисправности;

4) обрыв контрольных линий конечных выключателей, неисправность конечных выключателей, проверка работоспособности, устранение неисправностей;

5) настройка процента срабатывания конечных выключателей ИМ на открытие и закрытие, диагностика неисправности, устранение неисправностей;

6) неисправность силовых реле в КРУЗА П (в шкафах сборки), диагностика неисправности, устранение неисправностей;

7) неисправность управляющих реле в КРУЗА П, диагностика неисправности, устранение неисправностей;

8) перевод управление в “Местное”, диагностика неисправностей.

Результаты исследования

В результате классификации и анализа устройств КИПиА энергоблока 300 МВт был разработан ряд моделей датчиков температуры, давления, расходов, уровней и исполнительных механизмов с различными вариантами их электрических схем подключения.

При этом система взаимодействия теплогидравлических моделей среды и электротехнических моделей некоторых устройств построена через базу данных, что позволило расширить возможности обучения, создавая различные комбинации измерительных каналов.

Например, разработаны электротехнические модели подключения датчиков с унифицированным токовым сигналом 0...5, 0...20, 4...20 мА с питанием как от ПТК, так и отдельной линией. Унификация данных моделей позволила создавать комбинации:

- датчик давления 4...20 мА с питанием от ПТК;
- датчик давления 4...20 мА с внешним питанием;
- датчик расхода 4...20 мА с питанием от ПТК;
- датчик расхода 4...20 мА с внешним питанием.

Отметим, что разработка электротехнических моделей выдвигает на передний план задачу разработки значительного числа типовых схем подключений. Эта задача может быть эффективно решена путем интеграции с базами данных САПР AutomatiCS [11, 12], имеющими достаточный накопленный в течение многих лет объем описания типовых схем подключения как в части каналов измерения, так и в части схем управления приводами запорной и регулирующей арматуры для различных видов энергетического оборудования.

Подготовку персонала КИПиА можно разбить на пять этапов.

I этап. Теоретическая подготовка, при которой рассматриваются следующие вопросы:

- 1) общая характеристика современных multifunctionальных АСУТП и технических систем управления тепловых электрических станций;
- 2) технические средства измерения и контроля технологических параметров ТЭС, в том числе:
 - теоретические основы по измерению температуры, давления, перепада давлений, уровня;
 - основные характеристики технических средств измерения и управления;
 - правильность монтажа приборов измерения;
- 3) аппаратные и программные средства регулирования и управления на базе ПТК АСУТП;
- 4) функции АСУТП: сбор, первичная обработка сигналов и сигнализация технологических параметров, технологические защиты, автоматическое регулирование, в том числе:
 - теоретические основы автоматического регулирования, типы регуляторов;
 - оценки показателей качества эффективности систем регулирования;
 - способы настройки регуляторов, корректирующих регуляторов и корректоров.

II этап. Практическая работа на стендах КИП и ПТК заключается в следующем:

- 1) поверка датчиков температуры, измерительных преобразователей, средств измерения давления и расхода;
- 2) исследование динамических характеристик датчиков температуры;
- 3) расчет погрешностей измерительных каналов;
- 4) освоение технологии проектирования баз данных АСУТП;
- 5) сопровождение и разработка алгоритмов автоматического управления, систем защит, блокировок и автоматического ввода резерва (АВР) при программировании промышленных контроллеров, в том числе

подключение технических средств измерения и контроля к ПТК;

6) сопровождение и модификация прикладного программного обеспечения, в том числе:

- технологической сигнализации в ПТК;
- в части работы на операторской, архивной, инженерной и вычислительных станциях в структуре Полигона АСУТП (лаборатория кафедры «Систем управления ИГЭУ»);
- в части диагностики исполнительных устройств в составе автоматических систем регулирования (АСР), в том числе подключения исполнительных механизмов (здвижек, регулирующих клапанов) к ПТК.

Обучение на стендах КИП и ПТК может также проводиться и в дистанционном формате.

III этап. Работа персонала КИПиА на компьютерном тренажере котлотурбинного цеха (КТЦ) с полевым уровнем КИПиА позволяет выработать и закрепить навыки в следующих действиях:

- 1) поиск неисправностей в электрических цепях датчиков;
- 2) ввод в работу и проверка каналов измерения и сигнализаций;
- 3) поиск неисправностей в силовых и управляющих линиях ИМ (включая КРУЗА П);
- 4) настройка АСР;
- 5) подстройка АСР при ведении технологического режима;
- 6) расчет параметров настройки АСР по инженерным методикам для объекта без самовыравнивания (уровни и др.);
- 7) контроль цепей сигналов от функционально-группового управления (ФГУ), блокировок, технологических защит, опробовании защит.

IV этап. Совместное обучение персонала КТЦ и персонала КИПиА включает:

- 1) со стороны обучения персонала КТЦ: ликвидацию последствий отказа вспомогательного оборудования с минимизацией потерь энергокомпании на оптовый рынок электрической энергии и мощности (ОРЭМ);
- 2) со стороны обучения специалистов КИПиА: устранение неисправностей в работе приборов контроля, автоматизации, технологических защит и сигнализации.

Важно, что в процессе совместного обучения как для КТЦ, так и для группы КИПиА могут быть поставлены крайне сложные для них задачи, решение которых оказывает влияние на смежный цех и требует с ним организационного и технического взаимодействия.

Краткий перечень возможностей для обучения по поиску и устранению неисправностей в работе приборов контроля:

- обрыв линий, проверка работоспособности линий подключения датчика;
- неисправность самого датчика, контроль и проверка его работоспособности;
- замыкание между линиями в клеммниках, поиск и устранение неисправности;
- неправильный монтаж датчика, внесение дополнительных погрешностей измерения, устранение неисправности;
- несогласованная установка и настройка типа датчика в ПТК;

- сбой настроек уставок сигнализаций в ПТК;
- и другие (в зависимости от типа прибора контроля).

Последовательность постановки и решения задач при совместном обучении цехов:

- постановка и выполнение специалистами КТЦ задач по пуску, останову и ведению режимов энергоблока в условиях оптового рынка электрической энергии и мощности;
- подготовка инструктором на компьютерном тренажере сценариев неисправностей датчиков (обрывов, замыканий, загрязнений и т.д.), поломок исполнительных механизмов (ИМ), электродвигателей, ухудшение работы АСР, «обрывов» в цепях ФГУ, блокировок и защит;
- внесение в тренировочные ситуации сценариев технологических неисправностей;
- корректировка персоналом КТЦ режима работы оборудования для оптимального достижения первоначально поставленных задач;
- по запросу персонала КТЦ персоналом КИПиА проводится поиск и устранение неисправностей в средствах АСУТП, подстройка АСР, проверка цепей ФГУ, блокировок и защит, а также выполняются дополнительные задания, которые были поставлены инструктором тренажерной подготовки (например, замена датчика, опробование защиты и т.д.).

У этап. Сквозная работа групп КТЦ и КИПиА на соревнованиях профессионального мастерства заключается в следующем:

- 1) ликвидация последствий отказа вспомогательного оборудования с минимизацией потерь энергокомпаний на ОРЭМ (КТЦ);
- 2) устранение неисправностей в работе приборов контроля, автоматики, технологических защит и сигнализаций (группа КИПиА);
- 3) проверка согласованной работы группа КТЦ и КИПиА.

Развитие системы

«Плоская» визуализация (2D) системы тренажерной подготовки «полевого» персонала не дает обучаемому полноценного погружения в производственный процесс и не позволяет нарабатывать нужные моторные навыки.

Построение физических прототипов и использование натурных стендов частично решает данную проблему, но является экономически затратным способом и не позволяет имитировать всевозможные ошибки и виды неисправностей. Такие прототипы и стенды доступны только в высококритичных областях с большими финансовыми вложениями, например, авиационные тренажеры для наземной подготовки пилотов.

Использование же реального рабочего места как средства обучения связано с высокими рисками (авариями, травмами и т.д.), а в некоторых профессиях даже совершенно невозможно.

Переход на трехмерную технологию визуализации с использованием элементов виртуальной реальности в процессе обучения позволит максимально эффективно и с меньшими затратами проводить обучение и повышать профессиональные навыки.

В настоящее время выполняется подготовка персонала в режиме «плоской» визуализации. С учетом опыта обучения выполняется модернизация подсистемы компьютерных моделей полевой зоны АСУТП с переходом на технологии трехмерной визуализации и виртуальной реальности.

Обучение производственного персонала - одна из сфер, где применение новых технологий показывает высокую эффективность и экономически оправдано. Например, тренажер в дополненной реальности позволяет тренировать сотрудников для работы на инженерном полигоне удаленно, не выезжая на этот полигон. В дальнейшем развитие технологий визуализации будет сильно зависеть от специфики предприятия и важности для него того или иного сценария обучения.

Выводы

Разработана система обучения оперативного персонала с применением технологий визуализации для обучения оперативного персонала КИПиА. Выполнена интеграция данной системы с действующим компьютерным тренажером ТЭС.

Разработана подсистема плоской визуализации средств КИПиА (полевого персонала) ТЭС, в которой разработанные модели датчиков, приборов и исполнительных механизмов интегрируются с действующим компьютерным тренажером и обеспечивают реалистичное визуальное моделирование полевого оборудования.

Компьютерные тренажеры усовершенствованы в направлении современных технологий визуализации, которые позволяют закладывать в тренировочные ситуации новые сценарии, направленные на реалистичную имитацию действий оперативного и ремонтного персонала КИПиА станции с оценкой их действий в соответствии с производственными инструкциями.

Разработаны модели устройств КИПиА, позволяющие проверить функционирование датчиков и исполнительных механизмов, при необходимости изменять их технологическое подсоединение к линиям питания, а также проводить их настройку, проверку исправности, контроль линий подключения к ПТК и другим приборам.

Результаты работ позволяют проводить комплексное обучение персонала оперативной смены по решению как задач ведения режимов энергоблока, так и задач управления, обслуживания, поиска и устранения неисправностей средств КИПиА (например, осмотр оборудования, продувку импульсных линий датчиков, проверку датчика на ноль, протяжку контактов на датчике, настройку концевых на ИМ, прокрутку ИМ, диагностику оборудования, замену, снятие, настройку датчика и др.).

Список литературы

1. Матвеев В., Мацавей Н., Плессер Г., Салин Е., Шахов С. АСУ ТП энергетического комплекса с подстанцией ПС-110/10/6кВ и ГТ ТЭС-009 «Энергомаш» // Системная интеграция. Энергетика. — 2010. — № 3. — С. 34-46.
2. Рабенко В.С., Мошкарин А.В. Повышение безопасности, надежности, экономичности и продление срока службы

- оборудования предприятий тепловой энергетики средствами новых компьютерных технологий подготовки оперативного персонала // Энергосбережение и водоподготовка. — 2002. — № 2. — С. 64-71.
3. *Тверской Ю.С., Целищев Е.С., Голубев А.В., Никоноров А.Н., Муравьев И.К.* Опыт и особенности инновационной подготовки специалистов по автоматизации на полигоне АСУТП электростанций // Автоматизация в промышленности. — 2019. — № 9. — С. 11-17.
 4. *Дозорцев В.М.* Мировой рынок компьютерных тренажеров для обучения операторов: тенденции, вызовы, прогнозы // Автоматизация в промышленности. — 2016. — № 2. — С. 47-50.
 5. *Дозорцев В.М.* Технологии виртуальной реальности в обучении операторов технологических процессов // Автоматизация в промышленности. — 2018. — № 6. — С. 42-50.
 6. *Волкова М.М., Манурова Р.А., Шайдуллина Д.Н.* Применение виртуальных тренажеров для обучения специалистов нефтегазовой отрасли // Вестник технологического университета. — 2019. — Т.22. — № 4. — С. 115-121.
 7. *Тверской Ю.С., Аракелян Э.К., Кузнецов С.И.* Подготовка и повышение квалификации специалистов в области современных АСУ ТП электростанций // Теплоэнергетика. — 2006. — № 11. — С. 70-74.
 8. *Ишкильдин Р.Р.* Система поддержки процессов разработки тренажеров, автоматизированных технологических комплексов // Нефтегазовое дело. — 2015. — Т. 13. — № 4. — С. 220-225.
 9. *Рубашкин А.С.* Компьютерные тренажеры для операторов тепловых электростанций // Теплоэнергетика. — 1995. — №10. — С. 38-46.
 10. *Карташов Б.А., Шабаетов Е.А., Козлов О.С., Щекатуров А.М.* Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: Практикум по моделированию систем автоматического регулирования. М.: ДМК Пресс, 2017. — 424 с.
 11. *Целищев Е.С., Салин А.Г., Кудряшов И.С., Страхов С.В.* Применение новой технологии автоматизации проектирования при разработке систем управления Прегольской ТЭС // Теплоэнергетика. — 2019. — №9. — С.82-91.
 12. *Целищев Е.С., Богданов П.В., Котлова А.В., Кудряшов И.С.* Повышение эффективности САПР при проектировании систем управления электроприводом арматуры в составе АСУТП // Автоматизация в промышленности. — 2022. — № 9. — С. 46-51.

Голубев Антон Владимирович — канд. техн. наук, доцент,

Муравьев Игорь Константинович — канд. техн. наук, доцент,

Никоноров Андрей Николаевич — канд. техн. наук, доцент, *Наумов Юрий Владимирович* — ст. преподаватель, ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».

Обуваев Анатолий Сергеевич — канд. техн. наук, ООО «Тренажеры для электростанций»,

Целищев Евгений Сергеевич — д-р техн. наук, старший научный сотрудник, нач. отдела разработки программного обеспечения ЗАО «СиСофт Девелопмент».

Контактный телефон (4932) 26-97-57.

E-mail: kafsu@su.ispu.ru