

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 681.51, 371.693

Антон Владимирович Голубев

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», кандидат технических наук, заведующий кафедрой систем управления, Россия, Иваново, e-mail: kafsu@su.ispu.ru

Игорь Константинович Муравьев

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», кандидат технических наук, доцент кафедры систем управления, Россия, Иваново, e-mail: muraviev@gapps.ispu.ru

Игорь Анатольевич Пересыпкин

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», ассистент кафедры систем управления, Россия, Иваново, e-mail: ispolatov.snip1945@yandex.ru

Анатолий Сергеевич Обуваев

ООО «Тренажеры для электростанций», кандидат технических наук, Россия, Москва, e-mail: inf@fpps.ru

Интерактивный компьютерный тренажер – современное средство подготовки оперативного персонала цехов ТАИ и АСУТП

Авторское резюме

Состояние вопроса. В настоящее время компьютерные тренажеры находят все более широкое применение в подготовке операторов, технического и ремонтного персонала, занятого на тепловых и атомных электростанциях. Применение обучающих тренажеров предоставляет сотрудникам электростанций возможность накапливать ценный практический опыт действий в условиях нестандартных ситуаций, возникающих при отклонениях от нормального хода технологических процессов. При этом оперативный персонал цехов тепловой автоматики и измерений и АСУТП выполняет на электростанции важнейшую функцию – обеспечивает контроль работоспособности и поддержание в исправном состоянии всех технических и программных средств АСУТП энергоблока. Однако применяемые на тепловых и атомных электростанциях методы обучения оперативного персонала цехов тепловой автоматики и измерений и АСУТП (теоретическая подготовка, стажировка на рабочих местах ремонтного и оперативного персонала цехов тепловой автоматики и измерений и АСУТП) отстают от современных требований к темпам развития отрасли. Цель исследования заключается в разработке интерактивного тренажера для подготовки оперативного персонала цехов тепловой автоматики и измерений и АСУТП с виртуальным моделированием полевой зоны КИПиА.

Материалы и методы. Функционирование системы обучения обеспечивается программно-аппаратной инфраструктурой, расположенной на серверной части тренажера с операционной системой Linux. Инструментарий программиста представляет собой специализированный программный комплекс SIM-2000. Тестирование и наладка разработанных моделей оборудования полевого уровня (модели датчиков и линий подключений) проведена в среде динамического моделирования SimInTech.

Результаты. Разработана подсистема визуализации средств КИПиА для полевого оборудования ТЭС, в которой модели датчиков, приборов и исполнительных механизмов интегрируются в состав современных компьютерных тренажеров энергоблоков и обеспечивают реалистичное визуальное моделирование полевого оборудования. Разработаны модели устройств КИПиА, которые дают возможность диагностировать состояние датчиков и исполнительных механизмов, при необходимости изменять их технологическое подсоединение к линиям

питания, а также проводить их настройку, проверку исправности, контроль линий подключения к программно-техническому комплексу и другим приборам.

Выводы. Полученные результаты позволяют проводить комплексное обучение персонала оперативной смены блока по решению задач управления, обслуживания, поиска и устранения неисправностей средств КИПиА.

Ключевые слова: система обучения персонала, средства КИПиА, компьютерные тренажеры, операторский интерфейс, диагностика неисправностей

Anton Vladimirovich Golubev

Ivanovo State Power Engineering University, Candidate of Engineering Sciences (PhD), Head of Control Systems Department, Russia, Ivanovo, e-mail: kafsu@su.ispu.ru

Igor Konstantinovich Muraviev

Ivanovo State Power Engineering University, Candidate of Engineering Sciences (PhD), Associate Professor of Control Systems Department, Russia, Ivanovo, e-mail: muraviev@gapps.ispu.ru

Igor Anatolyevich Peresyarkin

Ivanovo State Power Engineering University, Assistant Professor of Control Systems Department, Russia, Ivanovo, e-mail: kafsu@su.ispu.ru

Anatoly Sergeevich Obuvaev

LLC "Simulators for Power Plants", Candidate of Engineering Sciences (PhD), Russia, Moscow, e-mail: inf@fpps.ru

Interactive computer simulator as a modern means of training operational personnel of thermal automation and measurement and automated process control systems shops

Abstract

Background. Computer simulators are widely used to train operators, technical and maintenance personnel at thermal and nuclear power plants (TPPs and NPPs). The use of training simulators provides power plant employees with the opportunity to gain valuable practical experience in case of emergency situations when technological processes deviate from normal operation. At the same time, operating personnel in the thermal automation and measurement (TAM) and process control systems (PCS) shops perform a vital function at the power plant. They ensure the performance monitoring and maintenance of all hardware and software components of the PCS of power unit. However, the training methods used at TPPs and NPPs for operating personnel in the TAM and PCS shops (theoretical training, on-the-job training for maintenance and operating personnel in the TAM and PCS shops) lag behind the current pace of industry development. The aim of the study is to develop an interactive simulator for training operational personnel of thermal automation and measurement shops and automated process control systems with virtual modeling of the field instrumentation and automation zone.

Materials and methods. The training system is supported by hardware and software located on the server side of the simulator running the Linux operating system. The programmer toolset is the specialized SIM-2000 software suite. Testing and debugging of the developed field-level equipment models (sensors and connection lines) have been conducted using the SimInTech dynamic simulation environment.

Results. A visualization subsystem for instrumentation and automation equipment (I&A) has been developed for TPP field equipment. This subsystem integrates developed models of sensors, devices, and actuators (AM) into modern computer simulators for power units, providing realistic visual modeling of field equipment. I&A device models have been developed that enable diagnostics of the condition of sensors and AM, adjusting their process connections to power lines, if necessary, as well as configuring them, checking their functionality, and monitoring their connections to the software and hardware suite and other devices.

Conclusions. The obtained results enable comprehensive training for the operational shift personnel of the unit to solve the problem of control, maintenance, and troubleshooting of instrumentation and automation equipment.

Key words: personnel training system, instrumentation and automation, computer simulators, operator interface, fault diagnostics

DOI: 10.17588/2072-2672.2026.1.075-083

Введение. Прогресс в области автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) в энергетике стимулируется инновациями в энергетическом оборудовании, ужесточением технических стандартов для систем управления и общим развитием вычислительных технологий. В частности, в последние десятилетия компьютерные тренажеры

стали широко использоваться для обучения операторов, обслуживающего и ремонтного персонала тепловых и атомных электростанций [1–4].

Применение компьютерных тренажеров дает возможность персоналу ТЭС и АЭС накапливать практические навыки реагирования на нестандартные ситуации, обусловленные отклонениями параметров оборудования в ходе

технологических процессов и приводящие к аварийным ситуациям на станции. При этом своевременное и точное диагностирование неисправностей и выбор методов их устранения влияет на выполнение ремонтных работ и определяет время простоя оборудования.

Анализ существующих систем подготовки персонала ТЭС и АЭС, согласно научным публикациям [5–8], указывает на то, что основной причиной ошибок является недостаточная организация обучения оперативного и ремонтного персонала.

В настоящее время тренажеры, оборудованные рабочим местом оператора-технолога, в значительной степени имитируют реальные условия труда. Это способствует практической подготовке персонала. Однако вопрос обучения сотрудников, непосредственно занятых на производственных площадках («полевой уровень»), остается открытым и требует решения.

Оперативный персонал цехов тепловой автоматики и измерений (ТАИ) и АСУТП (дежурный электрослесарь, сменный инженер, начальник смены цеха) выполняет на электростанции важнейшую функцию – обеспечивает контроль работоспособности и поддержание в исправном состоянии всех технических и программных средств АСУТП энергоблока, что, в свою очередь, позволяет оперативному персоналу технологических цехов (котлотурбинный, электрический, химический) управлять оборудованием и режимами работы энергоблока.

При этом применяемые на станциях методы обучения оперативного персонала цехов ТАИ и АСУТП (теоретическая подготовка, стажировка на рабочих местах ремонтного и оперативного персонала цехов ТАИ и АСУТП) отстают от современных требований темпов развития отрасли.

Для обучения и поддержания на высоком профессиональном уровне квалификации оперативного персонала технологических цехов на ТЭС и АЭС используются компьютерные тренажеры по оперативным переключениям, которые представляют собой копии рабочих мест машиниста энергоблока/начальника смены котлотурбинного цеха (КТЦ), начальника смены электрического цеха (ЭЦ).

Регулярные операции дежурного электрослесаря включают в себя обслуживание, проверку работоспособности и устранение неисправностей средств контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА), схем управления электроприводом запорной и регулирующей аппаратуры, контроллеров, технологических блокировок и защит, ввод в работу и их вывод в ремонт.

Помимо выполнения оперативных переключений, дежурный персонал должен обладать навыком выявления и устранения дефектов и неисправностей, в частности:

- датчиков КИПиА;
- схем управления электроприводом запорной и регулирующей аппаратуры;

- микропроцессорных средств программного-технического комплекса (ПТК), технологических защит и сигнализации.

Актуальность исследования также обусловлена требованиями по обязательной подготовке оперативного персонала на тренажерах, содержащимися в «Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации», «Правилах работы с персоналом в организациях электроэнергетики Российской Федерации», «Правилах организации работы с персоналом на предприятиях и в учреждениях энергетического производства».

Целью исследования является разработка интерактивного тренажера для подготовки оперативного персонала цехов ТАИ и АСУТП с виртуальным моделированием полевой зоны КИПиА.

Технология реализации тренажерного комплекса полевой зоны АСУТП. Методика создания модульной системы обучения персонала КИПиА представлена в [9]. Примером отработки технологии реализации предлагаемого тренажерного комплекса полевой зоны АСУТП с «плоской» визуализацией интерфейса является внедрение данной подсистемы в состав действующих компьютерных тренажеров энергоблоков:

- 300 МВт сверхкритического давления с газомазутным котлом ТГМП-314 производительностью 960 т/ч, конденсационной турбиной К-300-240 и генератором ТВВ-320;

- 200 МВт с газомазутным котлом ТГМЕ-206 производительностью 670 т/ч с промперегревом, конденсационной турбиной К-210-130 и генератором ТВВ-200-2;

- станции с поперечными связями с двумя газомазутными котлами ТГМ-96 производительностью 460/480 т/ч, паровыми турбинами ПТ-80/130 (470 т/ч) и Т-110/130 (480 т/ч);

- парогазового дубль-блока ПГУ-450Т с двумя газотурбинными установками ГТЭ-160, двумя котлами-утилизаторами естественной циркуляции П-96, теплофикационной паровой турбиной Т-150/125-7,7 и двумя генераторами ТФП-160-2У3.

Для тренировки персонала, занимающегося контрольно-измерительными приборами и автоматикой на тепловых электростанциях, в тренажерном комплексе предусмотрена специализированная система обучения. Эта система позволяет готовить как оперативный, так и ремонтный персонал.

Функционирование системы обучения обеспечивается программно-аппаратной инфраструктурой SIM-2000, расположенной на серверной части тренажера. Операционная система Linux управляет работой серверной части тренажерного комплекса. Веб-браузер, использующий защищенный протокол https, предоставляет доступ к интерфейсу тренажера.

Обобщенная схема тренажерного комплекса с подсистемой КИПиА представлена на рис. 1.

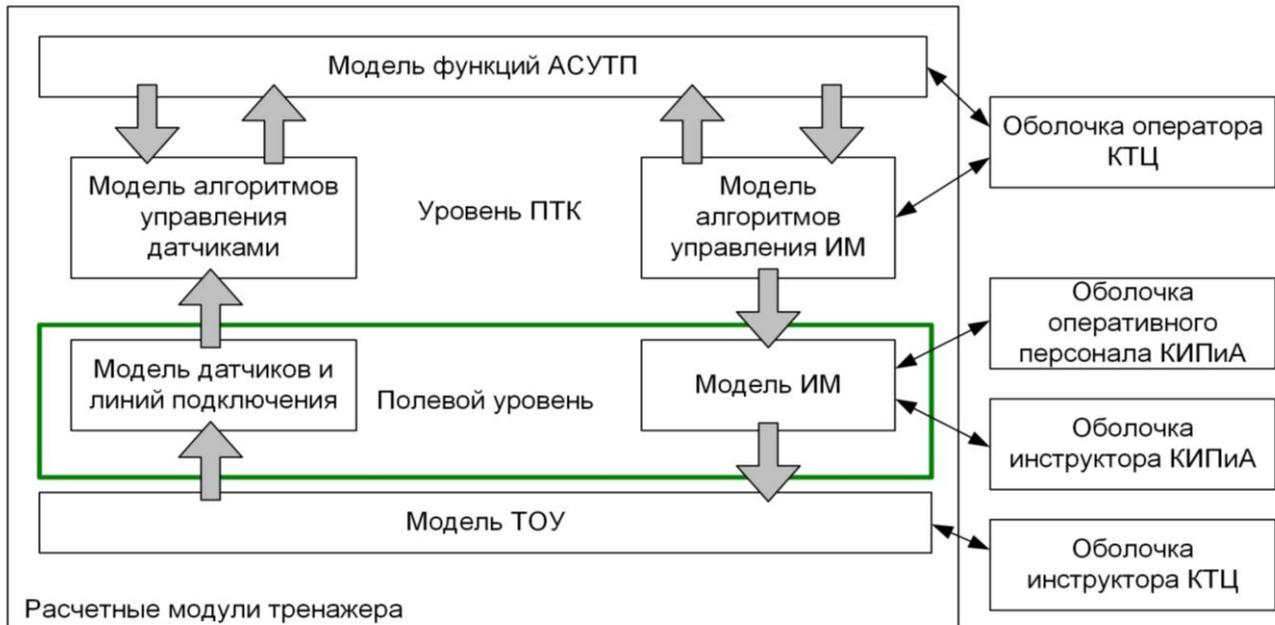


Рис. 1. Обобщенная схема тренажерного комплекса с подсистемой КИПиА: ТОУ – технологический объект управления; ПТК – программно-технический комплекс; ИМ – исполнительный механизм; КТЦ – котлотурбинный цех

В рамках подсистемы обучения оперативного персонала КИПиА реализована имитация полевого оборудования и контуров управления АСУТП.

Для имитации работы различных измерительных устройств в системе реализованы следующие модули:

- моделирование сигналов, генерируемых датчиками температуры на основе термометров сопротивления. Предусмотрены схемы подключения с двумя, тремя и четырьмя проводами. В режиме реального времени воссоздаются электрические сигналы, соответствующие градуировкам ТСП-50, ТСП-100, ТСМ-50 и ТСМ-100;

- эмуляция термопар различного типа (хромель–алюмель, хромель–капель, хромель–константан, платинородий–платина, платинородий–платинородий, вольфрам–рений), при которой формируются соответствующие электрические сигналы, имитирующие показания реальных датчиков;

- модели датчиков расхода измеряемой среды в различных трактах, предусматривающие схему с отдельным источником питания. Моделируется работа с унифицированным сигналом по силе тока в диапазоне 4–20 мА. Система импульсных линий предусматривает управление запорными вентилями, включая уравнительный. Моделируются неисправности, связанные с возникновением свищей и отложений на внутренних стенках импульсных линий;

- моделирование запорно-регулирующей арматуры в виде визуализации схем контроля и управления задвижек и регулирующих клапанов. Модели предусматривают возможность для контрольных измерений напряжения, силы тока и сопротивления. Подробно представлена релей-

ная часть, что позволяет более детально выявлять и устранять неисправности. Обучаемым предоставлена возможность подключать измерительные приборы в различных участках контуров электрической цепи и на основе показаний измерительных приборов определять характер неисправности и место ее возникновения. Включены модели приводов, силовых шкафов КРУЗАП и блоков управления ФРБУМ, а также соответствующие схемы управления запорной арматурой;

- функции автоматического регулирования, позволяющие оперативно изменять алгоритмы управления, параметры настройки регуляторов и корректирующих устройств в режиме реального времени;

- технологические защиты с функциями, позволяющими оперативно корректировать параметры их работы: изменять настройки, переключать конфигурации каналов, а также осуществлять тонкую настройку самих каналов. Указанные возможности позволяют имитировать нештатные ситуации в работе защит. В частности, можно смоделировать неисправности или спровоцировать ошибочные срабатывания. Такой функционал критичен для тестирования и отладки систем защиты. Он позволяет выявлять потенциальные уязвимости и предотвращать аварийные ситуации.

Методы исследования. Интерактивная модель представляет собой максимально приближенный к реальному визуальный образ физического объекта, включая визуализацию реального изменения положения в пространстве частей и агрегатов прототипа.

Архитектура моделей полевых устройств включает два основных компонента: теплогид-

равлическую модель окружения и электротехническую модель соединения устройства. Более подробно описание архитектуры моделей полевых устройств представлено в [9, 10]. Отметим некоторые особенности ее реализации.

В теплогидравлической модели учитываются типичные неполадки, такие как засорение импульсных линий и их повреждение (например, утечки). При этом принимаются во внимание ошибки измерений, обусловленные некорректной установкой датчиков и другими факторами. В связи с этим для точного моделирования работы устройства необходимо учитывать все аспекты, начиная от конструкции датчика и заканчивая условиями его эксплуатации и потенциальными неисправностями.

Электрическая модель устройства основывается на преобразовании физической величины (давления, температуры или расхода) в электрический сигнал, который передается по электрическим соединениям в ПТК. В основе этой модели лежат законы Ома и Кирхгофа. Она представляет собой систему алгебраических уравнений, описывающих компоненты электрической цепи. К ним относятся: первичный измерительный преобразователь; соединительные линии; клеммные колодки; модуль интерфейса с

объектом (УСО); блок преобразования сигнала и другие элементы.

Помимо типовых компонентов электрической схемы, в модель интегрированы механизмы воздействия на цепь, включая разрывы и обрывы линий, короткие замыкания в линиях и клеммах, дефекты электропитания и прочее. Также предусмотрена возможность подключения измерительных приборов, таких как вольтметр, амперметр и омметр, в контрольных точках цепи.

В качестве примера рассмотрим особенности реализации модели управления задвижкой в составе тренажерного комплекса с подсистемой КИПиА в соответствии с электрической схемой с двумя концевыми выключателями (рис. 2).

Отметим, что функционирование тренажерного комплекса подразумевает его работу в двух основных режимах: «Инструктор» и «Обучаемый».

При работе тренажера в режиме «Инструктор» обеспечиваются возможности по внесению в текущий режим эксплуатации технологического оборудования ТЭС различных тренировочных ситуаций, связанных с неполадками оборудования: короткие замыкания; нарушение контакта соединения проводов; обрывы проводов; неисправности блока питания (БП) и реле и ряд других неисправностей.

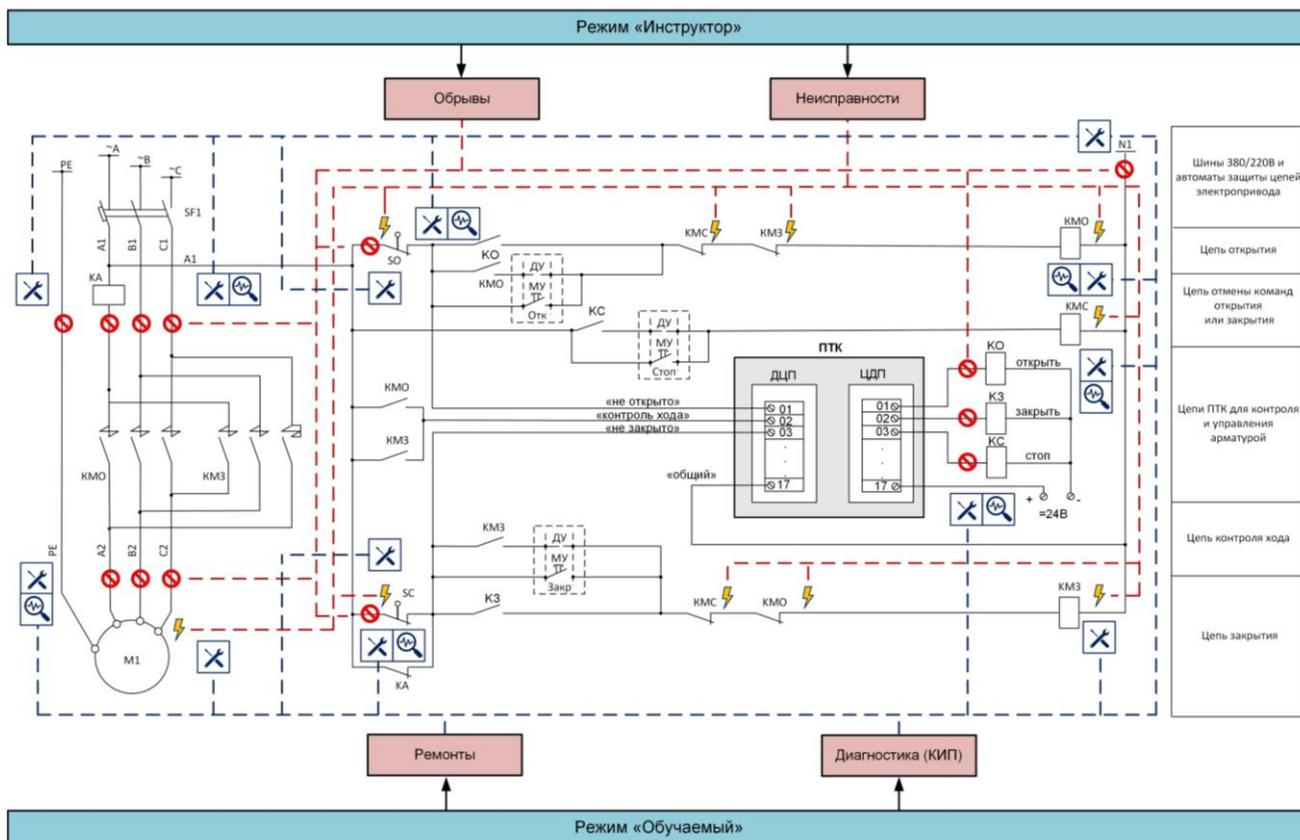


Рис. 2. Особенности реализации модели управления задвижкой в составе тренажерного комплекса с подсистемой КИПиА в соответствии с электрической схемой с двумя концевыми выключателями: ⚡ – замыкание; ⓧ – обрыв; 🔍 – возможность диагностики; ☒ – возможность ремонта

При работе тренажера в режиме «Обучаемый» обеспечиваются возможности по диагностике: приводов, силовых блоков КРУЗАП, управляющих и контрольных блоков ФРБУМ, а также модулей УСО в ПТК. Обучаемый может выполнять диагностику соответствующей части электрической схемы, например подключать/отсоединять вольтметры для измерения значений величины напряжений на линиях реле концевых выключателей, командных реле, питания ПТК привода или подключать/отсоединять омметры для измерения значений сопротивлений линий реле концевых выключателей. При выявлении неисправностей на

соответствующих участках схемы доступны специальные кнопки выполнения ремонтов. Все функции доступные в режиме «Обучаемый» обеспечиваются также и в режиме «Инструктор».

Результаты исследования. Особенности реализации интерфейса подсистемы визуализации средств КИПиА (полевой зоны) ТЭС в составе компьютерного тренажера рассмотрены ниже на примерах датчика давления и системы управления регулирующей арматуры.

Функциональные возможности датчика давления. Визуализация датчика давления представлена на рис. 3, 4.

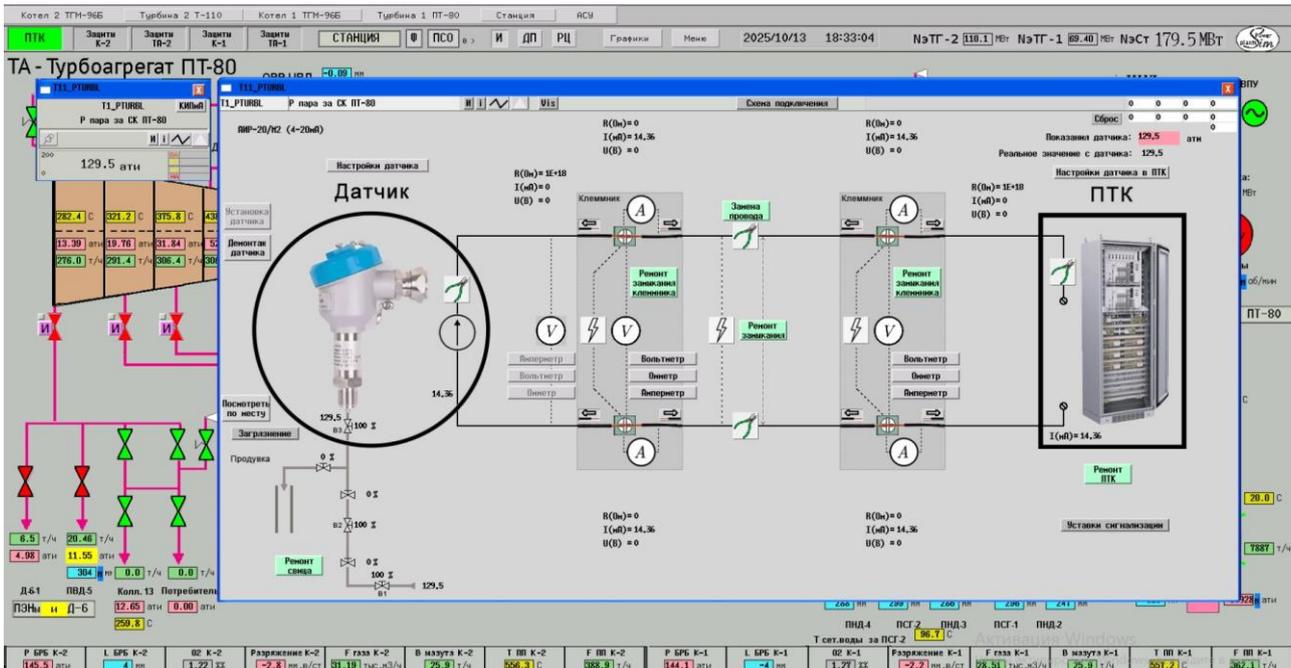


Рис. 3. Вид окна КИПиА для датчика давления в режиме инструктора

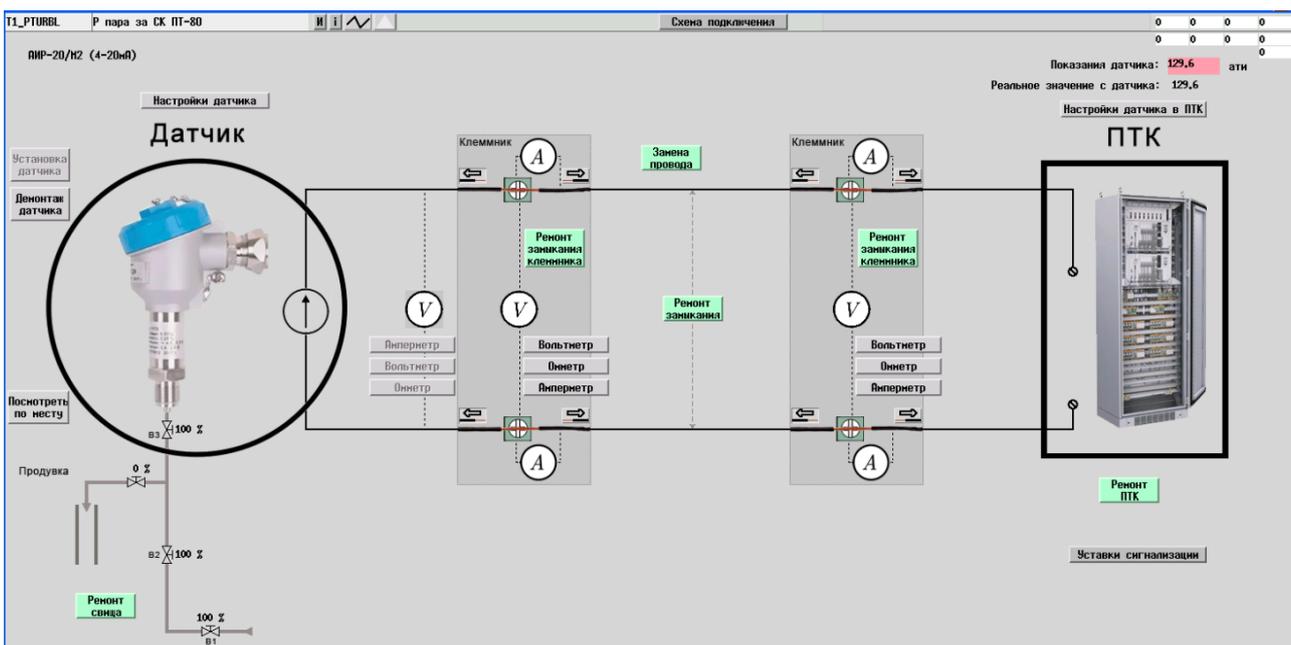


Рис. 4. Вид окна КИПиА для датчика давления в режиме обучаемого

Возможные неисправности и работы по их устранению:

- контроль реального значения с датчика;
- обрывы питания датчика, каждой из соединительных линий и соединения в ПТК;
- короткие замыкания на клеммниках датчика, проводах и клеммниках ПТК;
- задание загрязнения и изменения степени загрязнения;
- проверка и восстановление работоспособности блоков питания датчиков (при наличии внешнего БП), контроль напряжения;
- короткое замыкание линии подключения датчика к ПТК;
- обозначение операций по замене провода подключения датчика к ПТК;
- размыкания и замыкания каждой или нескольких линий подключений на клеммниках датчика и клеммниках ПТК с возможностью подключения амперметра для измерения силы тока;
- подключение и отсоединение вольтметров для измерения значений величины напряжений на линии питания датчика (клеммниках датчика и ПТК);
- подключение и отсоединение омметра для измерения значений величины сопротивления на линии питания датчика (клеммниках датчика и ПТК);
- вывод диалогового окна с настройками датчика, настройками датчика в ПТК и уставок сигнализаций;
- устранение неисправности импульсных линий (свища).

Функциональные возможности системы управления регулирующей арматурой. Визуализация управления регулирующей арматурой представлена на рис. 5, 6.

Возможные неисправности и работы по их устранению:

- поиск и устранение обрывов в силовых кабелях, проверка их функциональности и ремонт. Аналогичные действия производятся и с управляющими линиями: выявление повреждений, тестирование и восстановление работоспособности;
- диагностика и починка неисправностей блоков питания, отвечающих за передачу управляющих команд;
- обрывы и поломки контрольных линий и самих концевых выключателей, включая их проверку и последующее устранение обнаруженных дефектов;
- настройка процентного соотношения срабатывания концевых выключателей исполнительных механизмов (ИМ) при открытии и закрытии; выявление причин неисправностей и их устранение;
- диагностика и ремонт пускателей в комплектном распределительном устройстве с воздушной изоляцией (КРУЗАП);
- перевод управления в дистанционный (ручной) режим и последующая диагностика возникших неполадок;
- изменение времени полного хода ИМ и его настройка в ПТК.

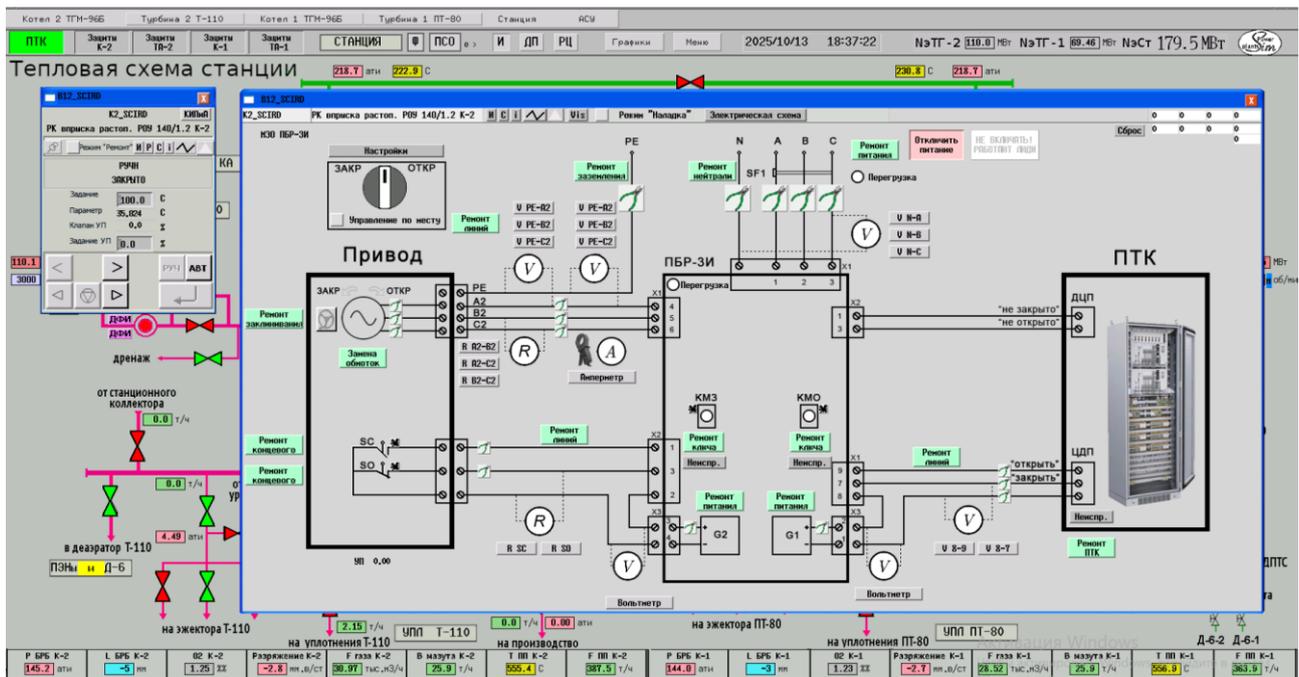


Рис. 5. Вид окна КИПиА для системы управления регулирующей арматурой в режиме инструктора

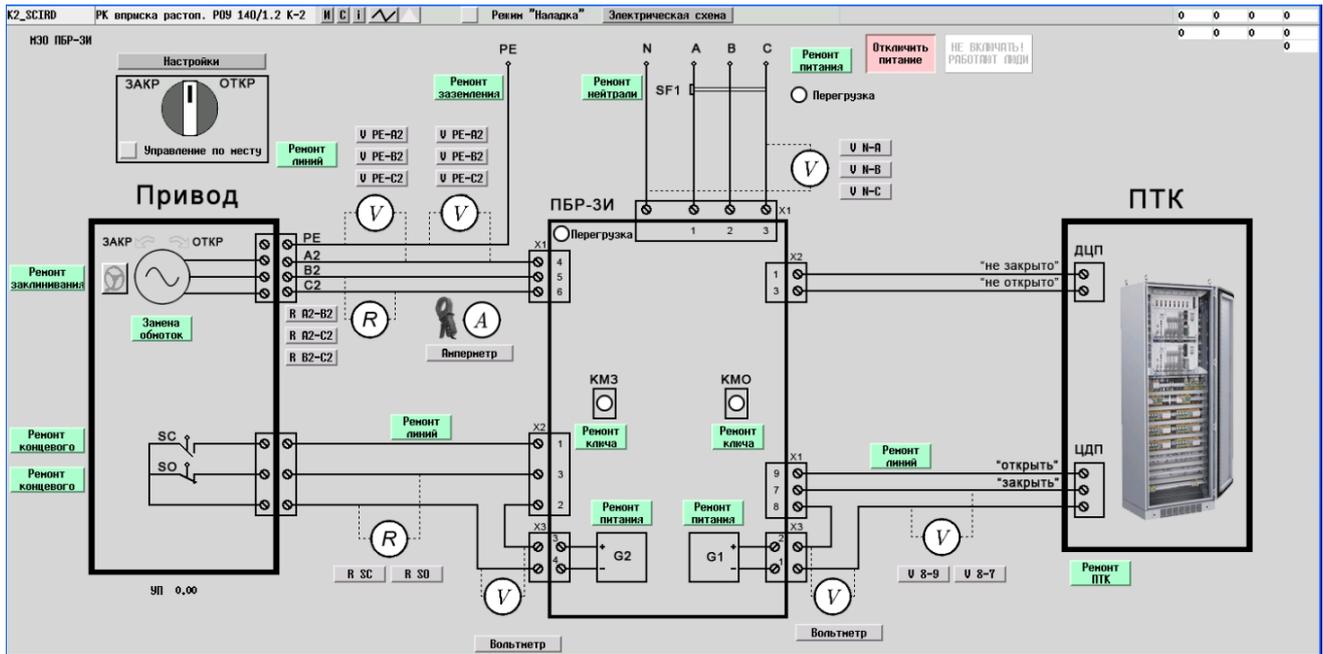


Рис. 6. Вид окна КИПиА для системы управления регулирующей арматурой в режиме обучаемого

В системе управления регулирующей арматурой реализованы следующие неисправности и возможности диагностики:

- обрывы силовых линий;
- обрыв управляющих линий;
- задание неисправности управляющих и силовых линий в КРУЗАП;
- ввод в ремонт реле привода;
- ввод в ремонт линии заземления, питания или нейтрали (при этом устраняется обрыв линии);
- подключение и отсоединение вольтметров для измерения значений величины напряжений на линиях реле концевых выключателей, командных реле, питания ПТК и привода;
- подключение и отсоединение омметров для измерения значений сопротивлений линий реле концевых выключателей;
- вывод диалоговых окон с контролем состояния привода, настройками в ПТК и электрической схемой;
- управление приводом по месту.

Тренажер имеет настраиваемую автоматическую систему оценки испытуемого при тренировке навыков обслуживания средств КИПиА и решении противоаварийных задач. Общая формула вычисления оценки строится на основе следующих критериев:

- баллы за правильно выполненные действия;
- баллы за неправильно выполненные действия;
- баллы за невыполненные действия;
- время на выполнение тех или иных операций по обслуживанию средств КИПиА.

Для системы оценок используются временные и штрафные критерии.

Все операции обучаемого с оборудованием (например, замена реле, подключение измерительных приборов, устранение неисправности и т.д.) переводятся в «рабочее время», основанное на средней продолжительности подобных работ на реальном оборудовании. Суммарное время, затраченное обучающимся на осмотр и ремонт, выводится как временная оценка.

При неправильном проведении ремонтных работ или при проведении работ с нарушением требований техники безопасности обучающемуся начисляются штрафные баллы в зависимости от серьезности ошибки.

По приведенным критериям с определенными коэффициентами формируется итоговая оценка работы обучающегося.

На текущий момент процесс обучения с использованием компьютерного тренажера с подсистемой КИПиА прошли около 1 тыс. сотрудников различных электростанций, которые входят в состав АО «Интер РАО – Электрогенерация» и ПАО «Т Плюс».

Выводы. В разработанной подсистеме визуализации средств КИПиА (полевой зоны) ТЭС разработанные модели датчиков, приборов и исполнительных механизмов интегрируются с действующими компьютерными тренажерами и обеспечивают моделирование полевого оборудования.

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

Результаты исследования 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.

Список литературы

1. **Технологии** виртуальной реальности как один из эффективных инструментов обучения на предприятиях энергетики / И.В. Путилова, П.П. Ершевич, Е.В. Скрипкина, К.С. Никишов // Энергия единой сети. – 2024. – № 3-4(74). – С. 46–55.

2. **Volman M.** Computer modeling and simulators as part of university training for NPP operating personnel // 2017 Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 781, No. 1. – P. 012055. DOI:10.1088/1742-6596/781/1/012055.

3. **Operator** training simulators in virtual reality environment for process operators: a review / D.S. Patle, D. Manca, S. Nazir, S. Sharma // Virtual Reality. – 2019. – Vol. 23. – P. 293–311.

4. **Дозорцев В.М.** Технологии виртуальной реальности в обучении операторов технологических процессов // Автоматизация в промышленности. – 2018. – № 6. – С. 42–50.

5. **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.

6. **Ишкильдин Р.П.** Система поддержки процессов разработки тренажеров, автоматизированных технологических комплексов // Нефтегазовое дело. – 2015. – Т. 13, № 4. – С. 220–225.

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. **Опыт** и особенности инновационной подготовки специалистов по автоматизации на полигоне АСУТП электростанций / Ю.С. Тверской, Е.С. Целищев, А.В. Голубев и др. // Автоматизация в промышленности. – 2019. – № 9. – С. 11–17.

9. **Совершенствование** системы обучения персонала цеха контрольно-измерительных приборов и автоматики на компьютерном тренажере / А.В. Голубев, И.К. Муравьев, А.Н. Никоноров и др. // Вестник Московского энергетического университета. – 2024. – № 3. – С. 107–112.

10. **Разработка** системы обучения персонала КИПиА и ее интеграция с компьютерным тренажером ТЭС / А.В. Голубев, И.К. Муравьев, А.Н. Никоноров и др. // Автоматизация в промышленности. – 2023. – № 4. – С. 3–11. DOI:10.25728/avtprom.2023.04.01.11.

References

1. Putilova, I.V., Ershevich, P.P., Skripkina, E.V., Nishov, K.S. Tekhnologii virtual'noy real'nosti kak odin iz

effektivnykh instrumentov obucheniya na predpriyatiyakh energetiki [Virtual reality technologies as one of the effective training tools at energy enterprises]. *Energiya edinoi seti*, 2024, no. 3-4(74), pp. 46–55.

2. Volman, M. Computer modeling and simulators as part of university training for NPP operating personnel. *Journal of Physics: Conference Series*, 2017, vol. 781, no. 1, p. 012055. DOI:10.1088/1742-6596/781/1/012055.

3. Patle, D.S., Manca, D., Nazir, S., Sharma, S. Operator training simulators in virtual reality environment for process operators: a review. *Virtual Reality*, 2019, vol. 23, pp. 293–311.

4. Dozortsev, V.M. Tekhnologii virtual'noy real'nosti v obuchenii operatorov tekhnologicheskikh protsessov [Virtual reality technologies in training process operators]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*, 2018, no. 6, pp. 42–50.

5. Rabenko, V.S., Moshkarin, A.V. Povyshenie bezopasnosti, nadezhnosti, ekonomichnosti i prodlenie sroka sluzhby oborudovaniya predpriyatiy teplovoy energetiki sredstvami novykh komp'yuternykh tekhnologiy podgotovki operativnogo personala [Improving the safety, reliability, efficiency and extending the service life of equipment at thermal power plants using new computer technologies for training operational personnel]. *Energoberezhenie i vodopodgotovka*, 2002, no. 2, pp. 64–71.

6. Ishkil'din, R.R. Sistema podderzhki protsessov razrabotki trenazherov, avtomatizirovannykh tekhnologicheskikh kompleksov [System for supporting processes of development of simulators, automated technological complexes]. *Neftgazovoe delo*, 2015, vol. 13, no. 4, pp. 220–225.

7. Tverskoy, Yu.S., Arakelyan, E.K., Kuznetsov, S.I. Podgotovka i povyshenie kvalifikatsii spetsialistov v oblasti sovremennykh ASU TP elektrostantsiy [Training and advanced training of specialists in the field of modern automated process control systems for power plants]. *Teploenergetika*, 2006, no. 11, pp. 70–74.

8. Tverskoy, Yu.S., Tselishchev, E.S., Golubev, A.V., Nikonorov, A.N., Murav'ev, I.K. Opyt i osobennosti innovatsionnoy podgotovki spetsialistov po avtomatizatsii na poligone ASUTP elektrostantsiy [Experience and features of innovative training of automation specialists at the site of automated process control systems for power plants]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*, 2019, no. 9, pp. 11–17.

9. Golubev, A.V., Murav'ev, I.K., Nikonorov, A.N., Naumov, Yu.V., Obuvaev, A.S. Sovershenstvovanie sistemy obucheniya personala tsekha kontrol'no-izmeritel'nykh priborov i avtomatiki na komp'yuternom trenazhere [Improving the training system for personnel of the instrumentation and automation shop on a computer simulator]. *Vestnik Moskovskogo energeticheskogo universiteta*, 2024, no. 3, pp. 107–112.

10. Golubev, A.V., Murav'ev, I.K., Nikonorov, A.N., Naumov, Yu.V., Obuvaev, A.S., Tselishchev, E.S. Razrabotka sistemy obucheniya personala KIPiA i ee integratsiya s komp'yuternym trenazherom TES [Development of a training system for instrumentation and automation personnel and its integration with a computer simulator for thermal power plants]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*, 2023, no. 4, pp. 3–11. DOI: 10.25728/avtprom.2023.04.01.11.