

вателя в среду цифрового двойника технологической установки и системы управления

технологическим процессом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лутошкин Г.С. «Сбор и подготовка нефти, газа и воды», М. ООО ТИД «Альянс» 2005 г.

2. Ивановский, В.Н. и др. «Нефтегазопромышленное оборудование», М. «Центр-ЛитНефтеГаз», 2006 г.

3. Линкин, А.С. Схемы сбора и подготовки газа / А. С. Линкин. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2019. – № 18 (256). – С. 130-131. – URL: <https://moluch.ru/archive/256/58740/> (дата обращения: 06.07.2023).

УДК 519.68

Агафонов Константин Витальевич,

*студент кафедры «Вычислительные машины и комплексы»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»*

Аксёнова Полина Александровна,

*студент кафедры «Вычислительные машины и комплексы»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»*

Дубовикова Яна Николаевна,

*студент кафедры «Вычислительные машины и комплексы»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»*

Кривов Максим Викторович,

*к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Вычислительные машины и комплексы»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,*

e-mail: vmk@angtu.ru

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ МАШИНИСТОВ КОТЛОТУРБИННОГО ЦЕХА

Agafonov K.V., Aksenova P.A., Dubovikova Ya.N., Krivov M.V.

DEVELOPMENT OF A COMPUTER SIMULATOR COMPLEX FOR THE TRAINING OF BOILER TURBINE SHOP MACHINISTS

Аннотация. Рассмотрен компьютерный тренажер для обучения персонала, его возможности и основные принципы работы.

Ключевые слова: Компьютерный тренажер, система корпоративной подготовки, цифровой двойник.

Abstract. A computer simulator for personnel training, its capabilities and basic principles of operation are considered.

Keywords: Computer simulator, digital double, corporate training system.

Цифровые двойники в сфере обучения персонала представляют собой мощный инструмент, который может помочь компаниям повысить эффективность обучения, улучшить навыки и знания сотрудников, а также развить потенциал каждого сотрудника.

На кафедре вычислительных машин и комплексов Ангарского государственного технического университета уже более 15 лет ведется исследование и разработка цифровых двойников для обучения оперативного персонала, работающего на опасных и взрывоопасных производствах. За это время было создано более десятка коммерческих проек-

тов, которые направлены на обучение операторов-технологов безопасной эксплуатации тепловых, теплоэнергетических и нефтехимических объектов. [1]

В данный момент кафедра ведёт разработку компьютерного тренажерного комплекса (КТК) «ИЛИМ-ЭНЕРГЕТИКА-2» для обучения машинистов котлотурбинного цеха ТЭЦ ПЛ «Энергетика» филиала АО «Группа «Илим» в г. Коряжме.

Данный КТК призван решать следующие задачи:

– Формирование и поддержание профессиональных знаний и навыков сотрудни-

ков, необходимых для обеспечения высокого уровня безопасности при эксплуатации технологического оборудования.

– Получение и отработка практических навыков по безопасному и эффективному управлению технологическим оборудованием в различных ситуациях, включая нормальные условия работы, нештатные и аварийные ситуации, которые задаются заранее подготовленными сценариями.

– Отработка совместных действий персонала по управлению котлоагрегатом, чтобы обеспечить эффективную и безопасную работу системы.

Тренажерные модели котлового оборудования, применяемые в КТК «ИЛИМ-ЭНЕРГЕТИКА-2», представляют собой математические модели, которые максимально точно отражают динамический процесс производства пара. Эти модели основаны на подробном описании физических процессов, происходящих в реальном объекте, и представляют собой системы нелинейных дифференциальных и алгебраических уравнений. Они включают уравнения состояния фазовых переходов, тепло- и массообменные процессы, тепловой и материальный баланс компонентов продуктов, а также гидродинамику и гидравлику. Параметры моделей определяются на основе технологических характеристик и паспортных данных реального оборудования.

Модели охватывают все элементы и устройства, присутствующие в моделируе-

мом котловом агрегате, и адаптированы к конкретным условиям установки, включая режимные параметры, обозначения и описания, системы контроля и автоматики, шкалы приборов и границы сигнализации.

В моделях учитывается теплообмен с окружающей средой, который происходит при выключении и прекращении подачи продуктов, что приводит к остыванию аппаратов и трубопроводов. Динамические характеристики моделей аппаратов максимально точно отражают реакцию реального объекта на возмущения и управляющие воздействия.

Физическое программное обеспечение станции инструктора включает две программные сборки: консольное приложение, которое является сервером КТК и графическое приложение с пользовательским интерфейсом, основанное на платформе .Net Windows Presentation Foundation.

Консольное приложение развертывает и запускает сетевую службу (self-hosted), то есть приложение-сервер для обработки запросов клиентского программного обеспечения через вычислительную сеть.

На рисунке 1 приведена диаграмма использования (Use case). В данной системе предусмотрено два типа пользователей: обучаемый оператор и инструктор. При начале работы пользователи проходят аутентификацию своих учетных записей и авторизуются в системе в качестве оператора или инструктора.

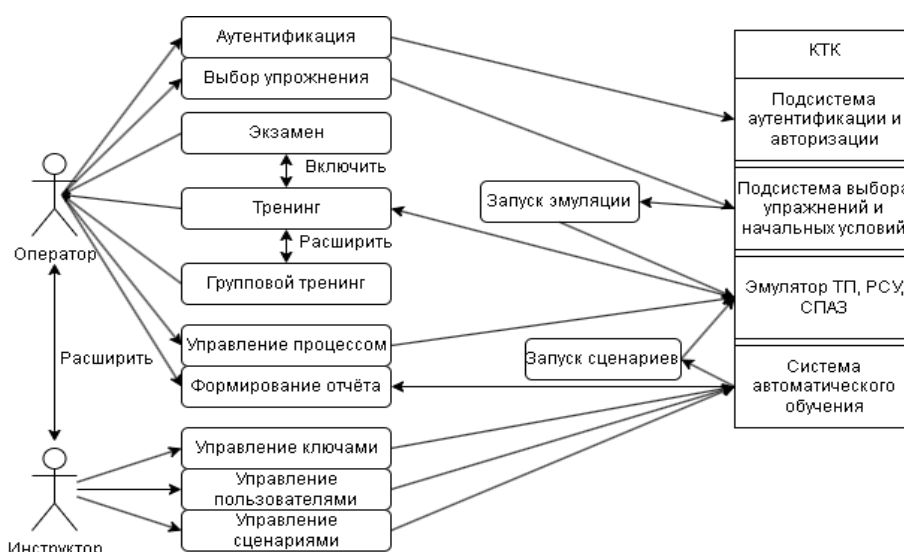


Рисунок 1 - Диаграмма использования КТК «ИЛИМ-ЭНЕРГЕТИКА-2»

Режим работы оператора осуществляется на двух мониторах: первый монитор

воспроизводит интерфейс, аналогичный реальной системе контроля и управления дос-

тупом, а второй монитор используется для имитации функций управления полевыми устройствами и отображения эмуляторов сенсорных терминалов оператора ПВВ (паровоздушный тракт), УГМ (топливный тракт: уголь, газ, мазут).

После аутентификации и входа в режим тренинга оператора пользователям будет доступен интерфейс модуля выбора упражнения.

Все упражнения разделены на группы:

– Нормальный режим работы - в этот раздел включены упражнения, характерные для нормального режима работы котла, при котором технический процесс осуществляется в нормальном режиме работы, и все технологические переменные находятся в пределах оптимальных значений.

– Пусковые операции – раздел включает в себя упражнения по пуску различных узлов установки из начального состояния. Упражнения этого раздела формируют у пользователей навыки безопасного пуска котлоагрегата и отдельных его узлов.

– Остановочные операции - раздел содержит упражнения по нормальной и аварийной остановке котлоагрегата и отдельных его узлов.

– Аварийные ситуации - упражнения по формированию и отработке навыков безопасного управления котлоагрегатом в нештатных и аварийных ситуациях.

У операторов есть возможность самостоятельно тренироваться на тренажере и контролировать свои знания. Для этого в КТК встроена автоматизированная обучающая система (АОС), создающая отдельный программный поток, который управляет состоянием моделируемого процесса и действиями оператора над моделью через разделяемую область памяти сценария АОС, сравнивает эталонные значения с действиями оператора и формирует информационные сообщения оператору, включающие протоколы обучения, комментарии, ошибки и инструкции по действиям. [2]

АОС является системой автоматически всплывающих подсказок и оповещений (рисунк 2).

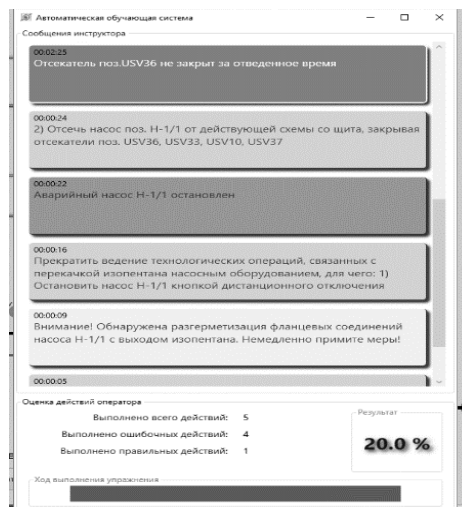


Рисунок 2 – Экран интерфейса АОС

Так же стоит отметить, что при работе в группе операторов пользователи могут расширить режим индивидуального тренинга до группового, что позволит им совместно выполнять одно упражнение с разных рабочих мест.

На рисунке 3 представлена схема рабочих процессов КТК "ИЛИМ-ЭНЕРГЕТИКА-2" в нотации IDEF0, которая демонстрирует реализацию способов взаимодействия с КТК.

При использовании рабочего процесса А1 инструктор создает базу пользователей,

наделяя их соответствующими правами инструкторов или операторов.

При авторизации пользователя в качестве оператора (процесс А0), ему предоставляется возможность выбора самостоятельного тренинга путем выбора упражнения для самостоятельной работы (процессы А2 и А3) и активации симулятора (процесс А4) для индивидуального тренинга.

Авторизованный инструктор может с помощью автоматизированного рабочего места (АРМ) инструктора (процесс А1) на-

значить ожидающим пользователям-операторам упражнение для контроля профессиональных навыков (процесс А7), а затем активировать симулятор для процесса А8.

В случае подключения нескольких пользователей-операторов к КТК, с помощью процесса А10 возможно объединить их работу в рамках одного упражнения для тренировки (процесс А12).

В процессе тренировки АОС оценивает действия оператора (процесс А5), сопоставляя их с эталонной моделью поведения в симулируемой ситуации ТП и обеспечивая требуемые значения технологических перемен-

ных. Результаты оценки действий в режиме тренировки предоставляются оператору в виде пояснительного сообщения, а в режиме экзамена замечания записываются в протокол тренировки.

По окончании тренировки или экзамена КТК формирует отчет (процессы А6, А9), который выводится на печатающем устройстве в виде бумажной копии. Результаты тренировок накапливаются в сводной статистике, что позволяет руководству контролировать непрерывность процесса поддержания и развития профессиональных качеств персонала.

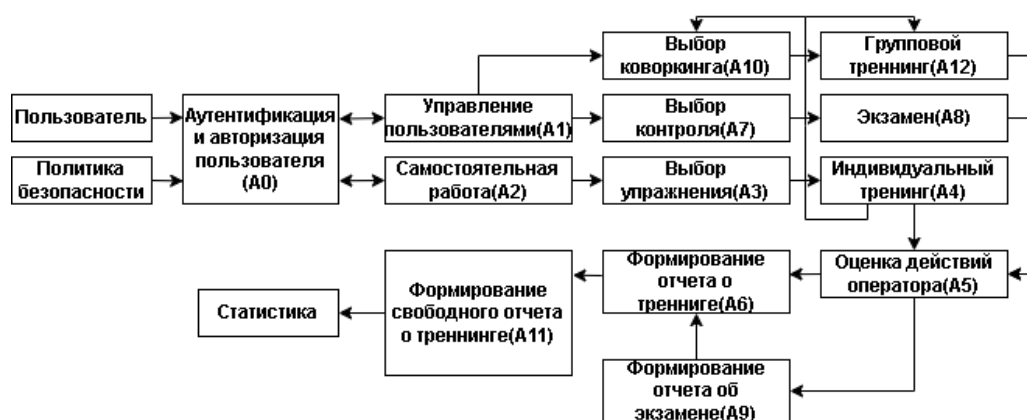


Рисунок 3 – Схема рабочих процессов компьютерного тренинга на КТК «ИЛИМ-ЭНЕРГЕТИКА-2»

Резюмируя вышесказанное, отметим, что учебный процесс КТК осуществляет:

- Обеспечение безопасности и интерактивности при взаимодействии с цифровыми прототипами промышленного оборудования.
- Погружение обучающихся в атмосферу реального рабочего места.
- Формирование понимания у персонала о причинах различного поведения технологического процесса в зависимости от управляющих воздействий.
- Возможность индивидуального и коллективного обучения.

Архитектурно программно-аппаратный комплекс КТК построен на основе клиент-серверной архитектуры и состоит из сервера КТК и клиентского обеспечения в виде АРМ операторов, подключаемых к серверу КТК через локальную вычислительную сеть.

Аппаратная структура КТК включает в себя следующие компоненты:

- Рабочая станция инструктора;

- Локальная вычислительная сеть;
- Рабочая станция машиниста котлоагрегата.

Рабочая станция инструктора представляет собой серверную часть архитектуры КТК, которая выполняет ряд важных функций. Сервер КТК является более мощной вычислительной машиной по сравнению с другими компонентами и обеспечивает следующие задачи:

- Симуляция поведения технологического процесса с помощью компьютерного моделирования автоматизированной системы управления технологическими процессами и вспомогательных инженерных систем.
- Симуляция функций системы контроля и управления, а также системы противоаварийной защиты с использованием компьютерного моделирования.
- Выполнение сценариев для компьютерной модели технологического процесса, включая обучающие сценарии, которые изменяют поведение модели процесса, создают

тренировочные ситуации и обеспечивают методическое сопровождение тренинга.

– Управление КТК с помощью автоматизированных рабочих мест инструктора.

Графическое приложение реализует АРМ инструктора, которое зависит от работы консольного приложения. Оно предназначено для управления тренировочным процессом и окружением КТК пользователем-инструктором.

Компьютерный тренажерный комплекс представляет собой безопасную и математически точную модель реального оборудования, которая обеспечивает удобный способ

формирования и отработки профессиональных навыков работы с установками в различных режимах, включая аварийные ситуации. Тренажер обладает удобством использования, при этом максимально приближен к реальному объекту и позволяет проходить обучение самостоятельно с помощью автоматизированной обучающей системы или под руководством инструктора. [3]

Дальнейшее развитие и применение цифровых двойников в обучении персонала имеет потенциал для существенного повышения эффективности и качества образовательного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Krivov M.V.** The concept of building training systems for training operators of liquefied hydrocarbon warehouses/Krivov M.V., Kolmogorov A.G., Kobozev V.Y., Sitosanova O.V., Vladodarnyi N.S.// journal of physics: conference series ser. "Computer-Aided Technologies in Applied Mathematics". Том 1680. Издательство: IOP Publishing Ltd, 2020.

2. Применение компьютерного тренинга в корпоративном обучении/ Кривов М.В.,

Благодарный Н.С.//Образовательные технологии и общество. Том: 22 №: 1, Изд.: Казанский национальный исследовательский технологический университет 2019, стр. 3-10

3. Цифровые двойники в корпоративной подготовке персонала/ Кривов М.В., Агафонов К.В., Аксёнова П.А. Изд.: Сборник научных статей молодых учёных и студентов АнГТУ 2023.