

становке задачи управления процессом полимеризации стирола в периодическом реакторе с мешалкой // Математические методы в технологиях и технике. 2024. № 1. С. 49-52.

7. **Кафаров В.В.** Методы кибернетики в химии и химической технологии. – М.: Химия, 1985. – 448 с.

8. **Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф.** Математическая теория оптимальных процессов. 4-е издание, – М.: Наука, 1983. – 392 с.

9. **Чостковская О.П., Чернякина И.В., Старинова О.Л.** Решение и применение обыкновенных дифференциальных уравнений и их систем. – Самара, Издательство Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, 2023. – 126 с.

10. **Болтянский В.Г.** Математические методы оптимального управления. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1969. – 408 с.

УДК 004.942

*к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Автоматизация технологических процессов»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: alexey-kol@narod.ru*

Кривов Максим Викторович,
*к.т.н., доцент, зав. кафедрой вычислительных машин и комплексов,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: vmk@angtu.ru*

Благодарный Николай Семенович,
*к.т.н., доцент, зав. кафедрой автоматизированного электропривода и электротехники,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна*

Кобозев Владимир Юрьевич,
*старший преподаватель кафедры автоматизации технологических процессов,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: vladi-mir.kobozeff@ya.ru*

СТРУКТУРА КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА «ИЛИМ-ЭНЕРГЕТИКА»

Kolmogorov A.G., Krivov M.V., Blagodarnyi N.S., Kobozev V.Y.

THE STRUCTURE OF THE «ILIM-ENERGETIKA» COMPUTER TRAINING COMPLEX

Аннотация. В статье приведено описание структуры компьютерного тренажерного комплекса «ИЛИМ-ЭНЕРГЕТИКА», разработанного при сетевом взаимодействии Ангарского государственного технического университета и Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. Тренажер внедрен и успешно эксплуатируется на ТЭЦ-1 АО «Группа ИЛИМ» в г. Коряжма.

Ключевые слова: компьютерный тренажерный комплекс, электростанция, структурная схема, программное обеспечение.

Abstract. The article describes the structure of the «ILIM-ENERGETIKA» computer training complex, developed in collaboration with the Angarsk State Technical University and St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design. The simulator has been implemented and is being successfully operated at CHPP-1 of JSC ILIM Group in Koryazhma.

Keywords: computer training complex, power plant, block diagram, software.

Энергетика играет ключевую роль в экономическом развитии России. Без энергетики невозможно представить себе современную жизнь, так как она является основой для комфорта и благополучия населения. Развитие этой отрасли способствует укреплению экономической стабильности и повы-

шению качества жизни граждан.

Для повышения обученности персонала электростанций АО «СО ЕЭС» разработано стандарт «Профессиональная подготовка, поддержание и повышение квалификации персонала» [1], определяющий подходы к подготовке персонала и этапы обучения.

Стандарт предусматривает при проведении профессиональной подготовки, поддержания и повышения квалификации использование современных программных средств обучения и проверки знаний, различные виды компьютерных тренажеров и учебно-тренировочных комплексов [1, с. 10].

Известно, что наибольший эффект в обучении оперативного персонала достигается путем использования компьютерных тренажеров. Их применение является сложившейся общемировой практикой профессиональной подготовки персонала. Наиболее продуктивными, с точки зрения эффективности подготовки машинистов, являются полнофункциональные компьютерные тренажерные комплексы (КТК), включающие: динамическую точную модель технологического процесса (тренажерную модель), модели реальной системы контроля и управления, имитатора рабочего места машиниста с мнемосхемами технологического процесса и органами управления, имитатора полевого оборудования и КИП, реализованными в виде технологических схем, фотопанорам или трехмерных экранных форм дополненной реальности с изображением интерактивной ручной запорной арматуры и органов управления по месту, а также набора готовых сценариев и упражнений для обучения и контроля профессиональных навыков машиниста.

Один из таких КТК, разработанный коллективом авторов, включающих три котлоагрегата БКЗ-160-100Ф, внедрен в промышленную эксплуатацию для обучения машинистов парогенерирующих установок и котельного оборудования 1-ой очереди котлотурбинного цеха ТЭЦ-1 АО «Группа ИЛИМ» в г. Коряжма.

Графический интерфейс КТК подробно описан в работе [2]. Данная статья посвящена описанию программно-аппаратной структуры КТК.

Компьютерный тренажерный комплекс «ИЛИМ-ЭНЕРГЕТИКА» предназначен для выработки у машинистов котлоагрегатов БКЗ-160-100Ф ТЭЦ-1 Котласского целлюлозно-бумажного комбината навыков по выполнению безопасных действий в процессе:

- нормальной эксплуатации;
- нормальной остановки;
- аварийной остановки;
- пуска;

– возникновения нештатных и аварийных ситуаций.

Основные задачи, которые могут быть решены с использованием КТК, следующие:

- формирование и поддержание профессиональных знаний и навыков персонала, обеспечивающих требуемый уровень безопасности при эксплуатации технологического оборудования;
- получение и отработка практических навыков по безопасному и эффективному управлению технологическим оборудованием в штатных, нештатных и аварийных ситуациях, задаваемых по заранее подготовленным сценариям;
- возможность тренинга без участия инструктора;
- автоматизированный контроль знаний и навыков персонала без участия инструктора, с формированием протокола;
- изучение инструкций по эксплуатации и функциональных технологических схем оборудования.

Помимо выполнения основных задач тренинга, КТК настроен на выполнение следующих сопутствующих задач:

- обучение персонала правилам работы с системой контроля и управления (СКУ):
- знакомство с функциями СКУ;
- обучение принципам взаимодействия с СКУ, методам управления технологическим процессом (ТП) посредством человеко-машинного интерфейса СКУ;
- формирование моторных навыков управляющих воздействий на ТП;
- изучение структуры СКУ и способов навигации по формам предоставления информации о ТП;
- обучение навыкам выполнения типовых технологических операций ТП;
- систематический контроль навыков персонала по выполнению типовых технологических операций по управлению и обслуживанию ТП;
- формирование когнитивных навыков у оперативного персонала по распознаванию штатных и нештатных ситуаций ТП;
- формирование и контроль навыков выбора стратегии управления в различных режимах работы ТП;
- обучение методам управления во внештатных ситуациях работы ТП;
- анализ эффективности выполнения персоналом технологических операций;

– ведение архива входного и периодического контроля профессиональных навыков персонала по безопасной эксплуатации парогенерирующих установок ТЭЦ ПЛ «Энергетика» филиала АО «Группа «Илим» в г. Коряжме.

Программно-аппаратная структура КТК приведена на рисунке 1.

Архитектурно программно-аппаратный комплекс КТК строится по клиент-серверной технологии и состоит из сервера КТК и клиентского обеспечения в виде подключаемых

по локальной вычислительной сети к серверу КТК, автоматизированного рабочего места (АРМ) машиниста парогенераторов (ПГ).

В состав аппаратной структуры КТК входят:

- рабочая станция инструктора (совмещена с сервером моделирования);
- локальная вычислительная сеть (на рисунке не показана);
- рабочая станция машиниста котла (с двумя мониторами).

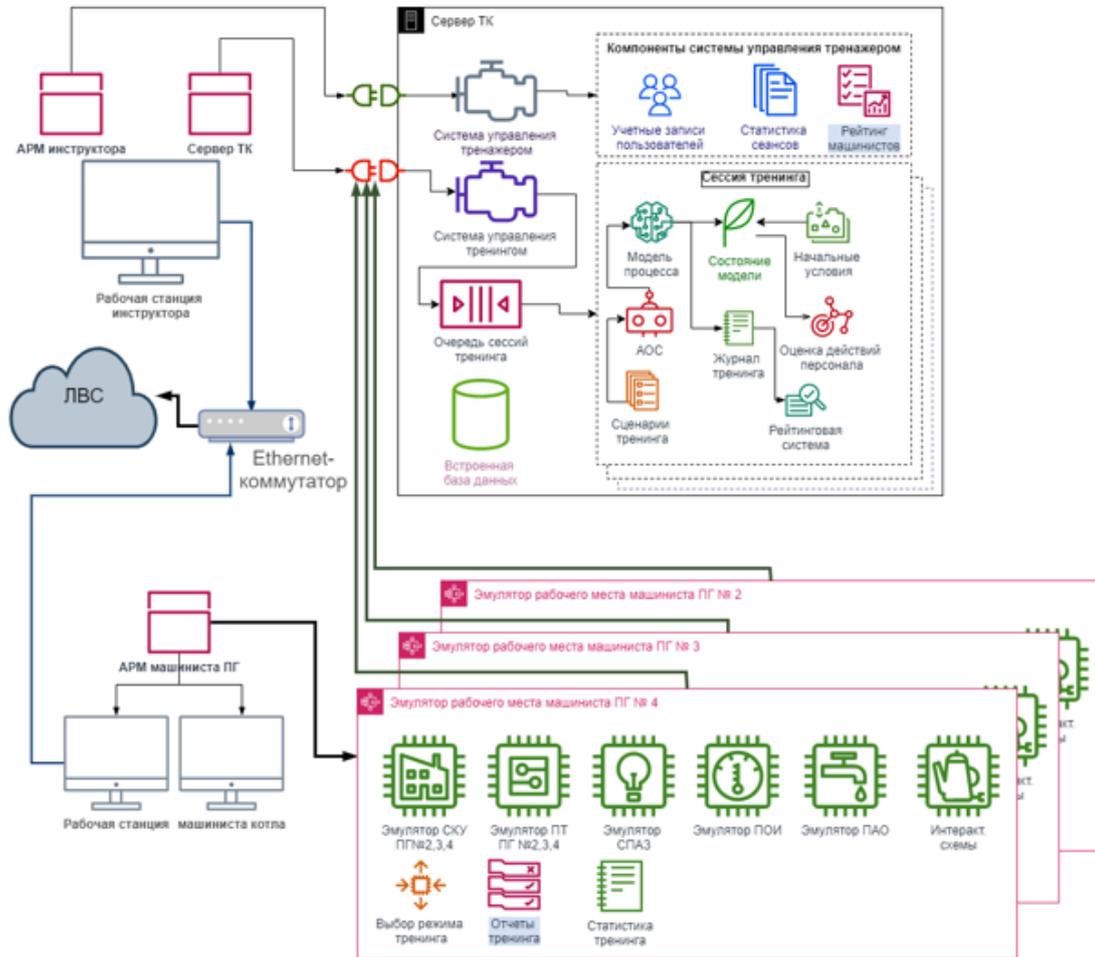


Рисунок 1 – Структура КТК «ИЛИМ-ЭНЕРГЕТИКА»

Станция инструктора представляет собой серверную часть архитектуры КТК. Сервер КТК по функциональным характеристикам - более мощная вычислительная машина и реализует функции:

- симуляции поведения ТП с помощью компьютерного моделирования ТП, СКУ и вспомогательных инженерных систем;
- симуляция с помощью компьютерного моделирования функций СКУ и систем

противоаварийной защиты (СПАЗ);

- исполнение для компьютерной модели ТП сценариев, включая обучающие сценарии для изменения поведения модели процесса, создание тренировочных ситуаций и методическое сопровождение тренинга;
- управления КТК с помощью АРМ инструктора.

Сервер КТК взаимодействует с клиентом (рабочей станцией машиниста) в форме сетевого протокола TCP/IP. Каналом переда-

чи информации такого взаимодействия является локальная вычислительная сеть.

Режим работы машиниста – на 2 мониторах: на первом мониторе воссоздается интерфейс, приближенный к реальной СКУ, второй монитор используется для имитации функций управления по месту полевым оборудованием или отображается эмулятор сенсорных терминалов.

Для развертывания компонентов КТК «ИЛИМ-ЭНЕРГЕТИКА» требуется конфигурация 64-х разрядных вычислительных машин, поддерживающих аппаратную платформу x64.

Серверная часть КТК (станция инструктора) работает на аппаратной платформе со следующими характеристиками:

- процессор Intel Core i9-10900F, 10 ядер с тактовой частотой 2800 МГц;
- объем оперативной памяти – 8 ГБ;
- размер накопителя информации (HDD/SDD) – 500 ГБ;
- монитор 27” с соотношением сторон 16:9 и поддержкой разрешения 1920x1080;
- лазерный принтер формата А4.

Рабочая станция машиниста работает на аппаратной платформе со следующими характеристиками:

- процессор Intel Core i5-10500, 6 ядер с тактовой частотой 3100 МГц;
- объем оперативной памяти – 8 ГБ;
- размер накопителя информации (HDD/SDD) – 250 ГБ;
- два монитора 27” с соотношением сторон 16:9 и поддержкой разрешения 1920x1080.

Программное обеспечение (ПО) станции инструктора реализуется в виде двух программных сборок: консольного приложения (собственно, сервер КТК) и приложения с АРМ инструктора, построенного на платформе .Net Windows Presentation Foundation. Графическое приложение, реализующее АРМ инструктора, зависит от работы консольного приложения, и служит для управления тренировочным процессом и окружением КТК пользователем-инструктором.

К функциям управления тренингом относятся сетевые функции:

- аутентификации и авторизации пользователей;
- функции управления учетными записями пользователей (создание, изменение,

удаление, смена паролей);

- функции предоставления информации о доступных упражнениях тренинга;
- функции запуска упражнения (в том числе в формате экзамена);
- функции присоединения к работающей сессии тренинга;
- функции завершения тренинга.

Когда пользователем активировано упражнение тренинга, модуль управления тренинга инициализирует компьютерную модель ТП, СКУ и СПАЗ с определенными для заданного упражнения начальными условиями (посредством модуля начальных условий) и активирует группу сценариев автоматизированной обучающей системы (АОС) данного упражнения.

Компьютерная модель построена с применением технологии параллельного многопоточного программирования и при запуске упражнения тренинга создается множество программных «нитей» (threads), которые изолированно итерационно рассчитывают уравнения узлов математической модели ТП на вычислительных ядрах центрального процессора. Синхронизация результатов расчета программных потоков осуществляется в разделяемой между вычислительными процессами памяти. Посредством сетевого API пользователи получают доступ к рассчитанным данным компьютерной модели через модуль синхронизации данных.

Автоматизированная обучающая система (АОС) при запуске упражнения тренинга создает отдельный программный поток, работающий параллельно потокам компьютерного моделирования, который через разделяемую область памяти по сценариям АОС контролирует состояние моделируемого процесса и действия, совершаемые машинистами над моделью, сопоставляет с эталонными значениями и действиями машиниста и формирует протокол обучения, информационные сообщения машинисту с комментариями, ошибками и указаниями к действию.

Сценарии АОС представляют собой исходные тексты программ на встроенном языке программирования КТК, эквивалентном языку программирования Python.

Каждому упражнению могут быть сопоставлены один или несколько файлов сценария с действиями, синхронизированными по времени. Сопоставление и настройка сценариев осуществляется через модуль управ-

ления АОС.

Программное обеспечение станции машиниста реализуется в виде программной сборки графического приложения с GUI, построенном на платформе .Net Windows Presentation Foundation.

Графическое приложение реализует АРМ машиниста, зависит от работы сервера КТК и служит для работы пользователя с компьютерной моделью ТП и реализации процесса компьютерного тренинга, а также контроля профессиональных навыков персонала.

В распоряжении машиниста имеются:

- эмуляторы СКУ парового котла;
- эмуляторы промышленных терминалов (ПТ) парового котла;
- эмулятор СПАЗ;
- эмулятор панели аварийного останова (ПАО);
- эмулятор панели общих индикаторов (ПОИ);
- интерактивные схемы для доступа к

элементам полевой автоматики;

– инструменты просмотра статистики тренинга обучаемого машиниста.

Представленная аппаратно-программная структура легла в основу компьютерного тренажерного комплекса «ИЛИМ-ЭНЕРГЕТИКА», внедренного в промышленную эксплуатацию в 2023 году на ТЭЦ-1 АО «Группа ИЛИМ» в г. Коряжма.

Эта работа явилась результатом сетевого взаимодействия Ангарского государственного технического университета и Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. Двухлетний опыт эксплуатации КТК показал высокую эффективность данного интерактивного инструмента при подготовке оперативного персонала станции. Итогом послужила заявка на продолжение работ по оснащению второй очереди ТЭЦ-1 подобным комплексом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы»: [сайт] / учредитель АО «СО ЕЭС». – Москва, 2024 – URL: https://www.sops.ru/fileadmin/files/laws/standards/st_prof.PDF / (дата обращения: 28.09.2025). – Текст: электронный.

2. **Благодарный, Н.С.** Компьютерный тренажер для машинистов паровых котлов /

Н.С. Благодарный, В.В. Борко, О.О. Иванов, М.В. Кривов, А.Г. Колмогоров, В.Ю. Кобозев. Текст: непосредственный // Материалы Всероссийской отраслевой научно-практической конференции «Инновационные решения в развитии целлюлозно-бумажной отрасли и лесопромышленного комплекса». – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2024. – С. 144-159.