

Колмогоров Алексей Геннадьевич,

к.т.н., доцент, зав. кафедрой автоматизации технологических процессов,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: atp@angtu.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

СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА «ИЛИМ-ЭНЕРГЕТИКА»

Kolmogorov A.G., Krivov M.V.

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

Аннотация. В статье приведено описание структуры программного обеспечения 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 software of the «ILIM-ENERGETIKA» computer simulator complex, developed in collaboration with the Angarsk State Technical University and the 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.

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 операторов, 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 оператора.

Два из таких КТК, включающих четыре котлоагрегата БКЗ-160-100Ф, а также три котлоагрегата БКЗ-210-160Ф, внедрены в промышленную эксплуата-

цию для обучения оперативного персонала (машинистов) парогенерирующих установок и котельного оборудования 1-й и 2-й очереди котлотурбинного цеха ТЭЦ-1 АО «Группа ИЛИМ» в г. Коряжма.

Аппаратно-программная структура КТК описаны в работе [1]. Данная статья посвящена описанию особенностей структуры программного обеспечения (ПО) КТК.

В соответствии с аппаратной структурой КТК, программное обеспечение разделено на два основных модуля: ПО станции инструктора и ПО станции машиниста.

Физически 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 автоматизированное рабочее место (АРМ) инструктора, зависит от работы консольного приложения и служит для управления тренировочным процессом и окружением КТК пользователем-инструктором. Структура программного обеспечения серверной части КТК станции инструктора представлена на рисунке 1.

Модуль удаленного вызова процедур реализует сетевой API, функции которого позволяют управлять работой КТК. Конечной точкой (URI end-point) Self-hosted сетевого сервиса ТК, через которую осуществляется сетевое взаимодействие с АРМов машиниста и АРМ инструктора, является сетевой адрес `net.tcp://<host>/ilim:3000`, где `host` – имя узла в сети, на котором установлено ПО станции инструктора.

Запросы, поддерживаемые сетевым API сервера КТК, можно разделить на три группы:

- вызов функций управления тренингом;
- синхронизация данных АРМов машинистов;
- запрос статистики по сеансам тренинга.

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.

Перечисленные функции вызываются клиентским сетевым API АРМов инструктора и АРМов машинистов при выполнении пользователями определенных действий с интерфейсом пользователя в своей программной среде.

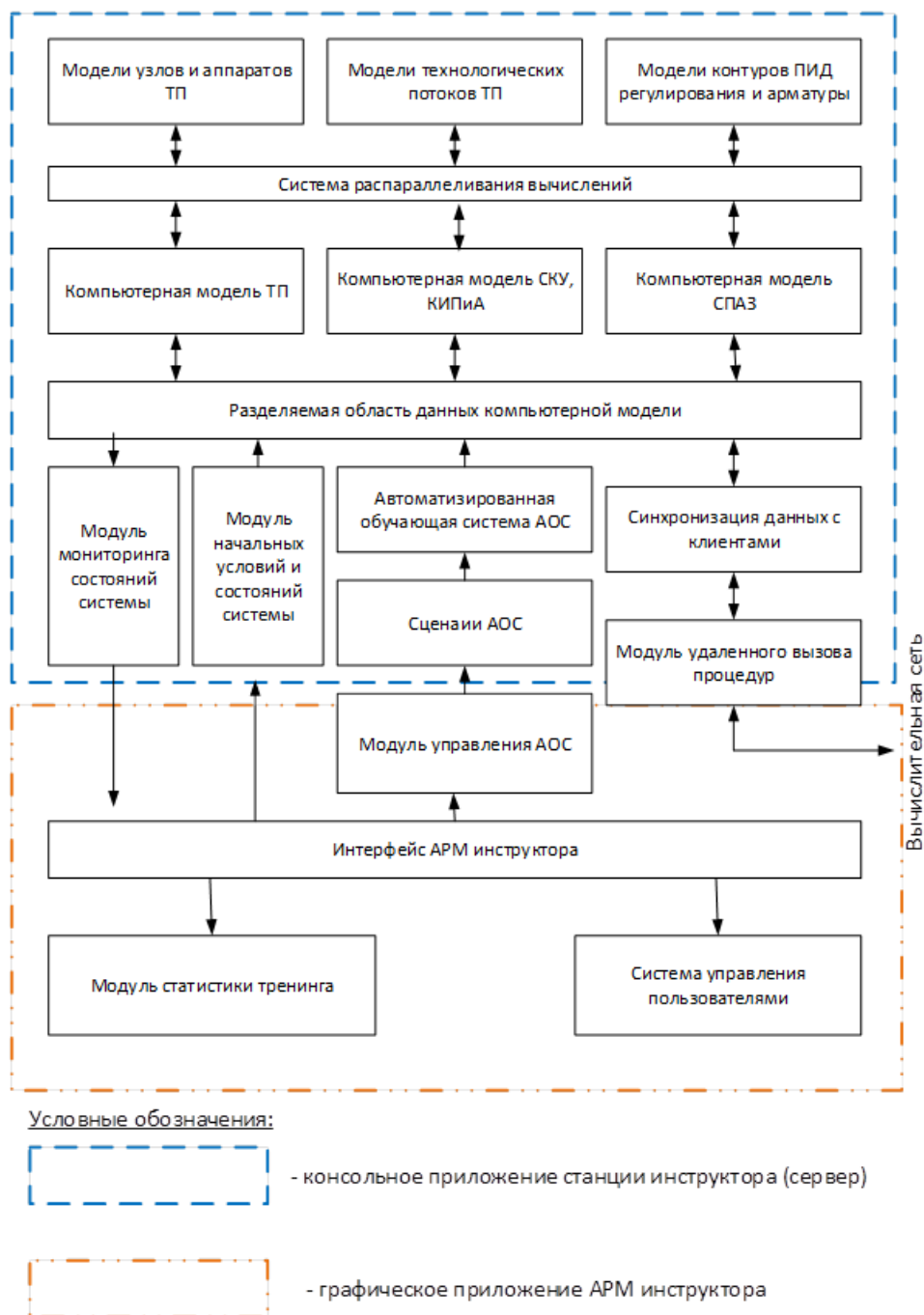


Рисунок 1 – Структура ПО станции инструктора

Когда пользователями активировано упражнение тренинга, модуль управления тренинга инициализирует компьютерную модель технологического процесса (ТП), системы контроля и управления (СКУ) и системы противоаварийной защиты (СПАЗ) определенными для заданного упражнения начальными условиями (посредством модуля начальных условий) и активирует группу сценариев автоматической 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.

В сервере имеется возможность с помощью модуля мониторинга состояния системы сохранить «отпечаток» разделяемой памяти на жесткий диск, сохранив таким образом текущее состояние моделируемого процесса для последующего воспроизведения, анализа и отработки машинистами каких-либо технологических операций. Также модуль мониторинга состояния системы используется АРМ инструктора для сопровождения тренинга машинистов в реальном времени. Модуль делает скрининг данных моделируемого процесса и предоставляет инструктору агрегированные сведения и оценки качества выполнения упражнения машинистом.

Автоматизированная обучающая система 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 ТК, эквивалентном языку программирования Python.

Каждому упражнению могут быть сопоставлены один или несколько файлов сценария с действиями, синхронизированными по времени. Сопоставление и настройка сценариев осуществляются через модуль управления АОС.

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

Графическое приложение, реализующее 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.

Структура программного обеспечения станции машиниста представлена на рисунке 2.

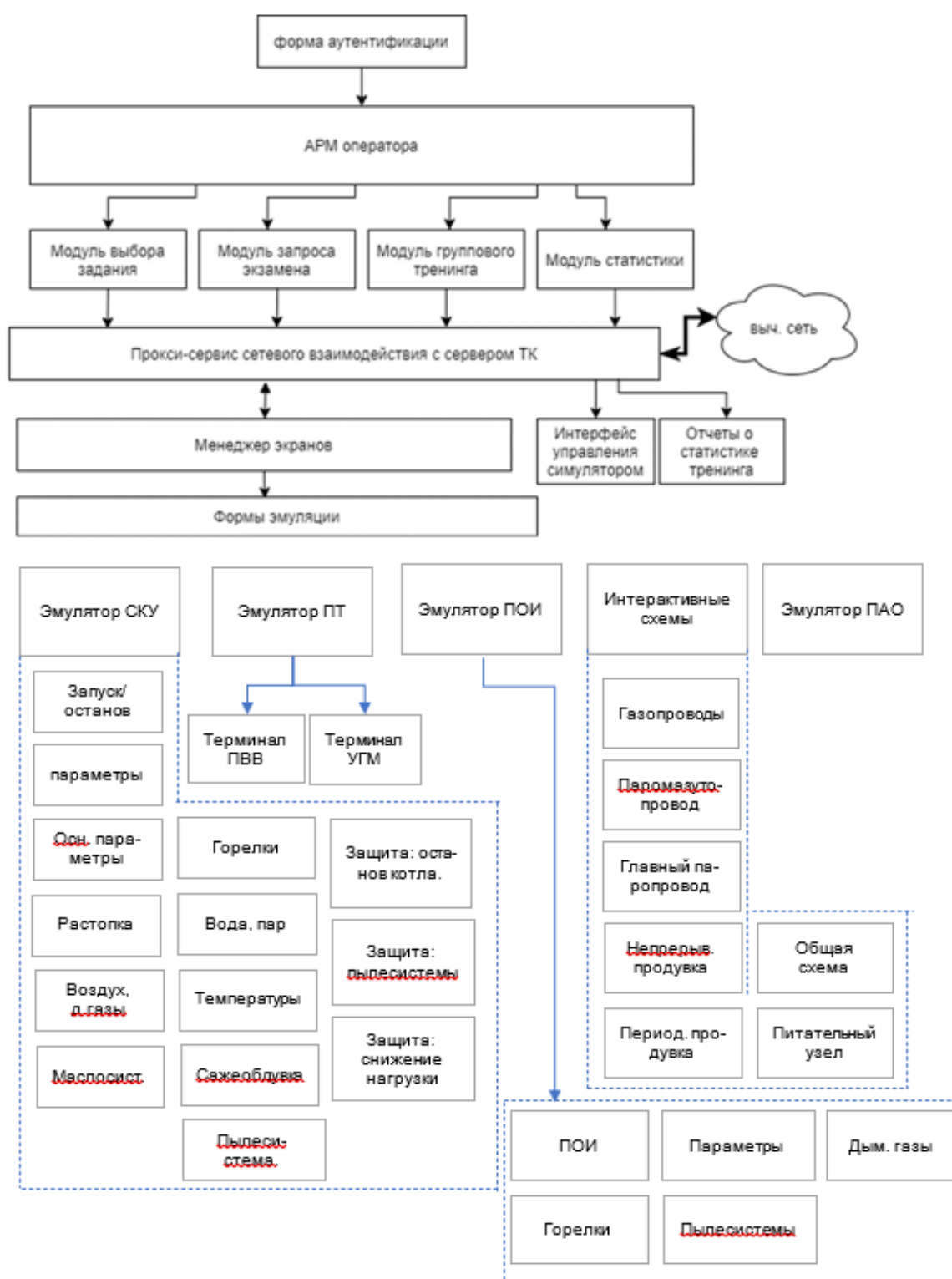


Рисунок 2 – Структура ПО станции машиниста

Здесь представлена структура и взаимосвязь всех представленных в КТК экранных форм:

- эмулятор СКУ – содержит набор интерактивных экранных форм, в точности повторяющих формы реальной системы управления;
- эмулятор промышленных терминалов (ПТ) – имитирует набор экранных форм, встроенных в реальные операторские панели-тачскрины: ПВВ – терминал «пар-вода-воздух», УГМ – терминал «уголь-газ-мазут»;
- эмулятор панели основных измерений (ПОИ) – имитирует отдельно стоящий компьютер с общими параметрами котельной;
- эмулятор интерактивных схем – содержит набор интерактивных технологических схем, с помощью которых можно управлять ручной трубопроводной арматурой;
- эмулятор панели аварийных отключений (ПАО) – имитирует набор реальной механической панели, на которой расположены аварийные кнопки и выключатели, с помощью которых возможно аварийно остановить котлоагрегат в случае выхода из строя СКУ.

Примеры графических интерфейсов представленных эмуляторов рассмотрены в работе [2].

Представленные решения явились результатом совместной работы Ангарского государственного технического университета и Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. Опыт использования КТК продемонстрировал значительную эффективность этого интерактивного инструмента в процессе подготовки оперативного персонала станции.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Колмогоров, А.Г.** Структура компьютерного тренажерного комплекса «ИЛИМ-ЭНЕРГЕТИКА» / А.Г. Колмогоров, М.В. Кривов, Н.С. Благодарный, В.Ю. Кобозев. Текст : непосредственный // Вестник АНГТУ. – Ангарск: РИО АНГТУ, 2025. – Том 1. – № 19. – С. 147–151.
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.