

***МОДЕЛИ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ИНТЕРАКТИВНОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ УЧЕБНОГО СЦЕНАРИЯ В
ВИРТУАЛЬНОМ ТРЕНАЖЁРЕ ТЭЦ***

Галиев Б. В.

студент,

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»,

Уфа, Россия

Харунов Р. Р.

студент,

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»,

Уфа, Россия

Каримов Р. Р.

к.т.н., доцент,

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»,

Уфа, Россия

Аннотация

В статье представлены модели и программные средства интерактивного взаимодействия с оборудованием при выполнении учебного сценария в виртуальном тренажёре ТЭЦ. Рассмотрена организация сопровождения обучаемого на глобальном маршруте и внутри сценарных зон. Описаны функциональная и информационная модели, диаграмма активности, формализация проверки действия, алгоритмы выбора зоны, объекта, положения и инструмента, а также структура программных компонентов. Практическая реализация включает HUD, контрольный список, подсветку активного объекта, простые и многопозиционные действия, открытие отсеков, перенос инструмента и проверку отсутствия напряжения. Показано разделение функций между

сценарным менеджером, объектами сцены, интерфейсом и средствами регистрации событий.

Ключевые слова: виртуальный тренажёр; ТЭЦ; интерактивное взаимодействие; учебный сценарий; виртуальное оборудование; HUD; контрольный список; подсветка; Unity; человеко-машинный интерфейс.

***MODELS AND SOFTWARE TOOLS FOR INTERACTIVE EQUIPMENT
OPERATIONS DURING TRAINING SCENARIO PERFORMANCE IN A
VIRTUAL CHP PLANT SIMULATOR***

Galiev B. V.

student,

Ufa University of Science and Technology,

Ufa, Russia

Kharunov R. R.

student,

Ufa University of Science and Technology,

Ufa, Russia

Karimov R. R.

PhD, Associate Professor,

Ufa University of Science and Technology,

Ufa, Russia

Abstract

The article presents models and software tools for interactive equipment operations during training scenario performance in a virtual simulator for combined heat and power plant personnel. The proposed approach supports the trainee along the global route and within local scenario zones. Functional and information models, an activity diagram, a formal action validation model, route and mandatory-action algorithms, and

the structure of software components are described. The implementation includes a head-up display, a checklist, active-object highlighting, simple and multi-position controls, cabinet door operations, portable tool handling, and voltage absence checks. Responsibilities are separated between the scenario manager, virtual objects, interface components, and event logging tools.

Keywords: virtual simulator; combined heat and power plant; interactive operation; training scenario; virtual equipment; head-up display; checklist; highlighting; Unity; human-computer interaction.

Введение

Практическая подготовка оперативного персонала ТЭЦ включает изучение нормативных документов, стажировку, дублирование, противоаварийные тренировки и отработку переключений под контролем инструктора. Порядок работы с персоналом электроэнергетических организаций определяется отраслевыми правилами [9]. Выполнение учебных операций на действующем оборудовании ограничивается требованиями безопасности, технологическим режимом станции и необходимостью постоянного присутствия квалифицированного специалиста.

Виртуальные тренажёры позволяют воспроизводить помещения, оборудование и последовательность операций без воздействия на реальный объект. Такой подход применяется для подготовки производственного персонала, поскольку обеспечивает повторяемость сценариев и безопасную отработку действий с техническими системами [6; 12]. При этом качество обучения зависит не только от точности трёхмерной модели, но и от того, насколько понятно система ведёт пользователя по маршруту, показывает текущую цель и реагирует на выбранный объект.

Интерактивное сопровождение должно связывать сценарий, виртуальное оборудование и пользовательский интерфейс. При проектировании таких систем

необходимо учитывать понятность управления, результативность выполнения задачи и условия использования интерфейса [1; 2]. В средах виртуальной и дополненной реальности человеко-машинный интерфейс также выполняет функцию визуального и пространственного посредника между пользователем и цифровой моделью объекта [5].

Ранее были предложены системные модели обучения операторов ТЭЦ и рассмотрены возможности применения игровых технологий для повышения безопасности [7; 13]. Отдельные подходы к проектированию интерфейсов и интерактивных учебных сред развиваются также в работах, посвящённых цифровым технологиям в организационно-технических системах [14]. В настоящей работе внимание сосредоточено на программных средствах интерактивного выполнения сценария: маршрутизации между зонами, выборе объектов и положений, визуальных подсказках, контрольном списке, работе с переносным инструментом и изменении состояния виртуального оборудования.

Организация практического обучения и интерактивного сопровождения

В традиционном практическом цикле инструктор готовит учебное задание на основе бланка переключений и технологической инструкции, определяет рабочую зону и перечень оборудования, после чего объясняет последовательность операций и требования безопасности. Затем он демонстрирует органы управления, разрешает обучаемому выполнить отдельные действия и контролирует каждый этап. Ошибки исправляются по устному замечанию или повторной демонстрации. Такой порядок позволяет познакомить обучаемого с реальным оборудованием, однако требует постоянного присутствия инструктора, зависит от доступности технологического объекта и не обеспечивает автоматическую фиксацию всей последовательности действий.

В виртуальной среде часть функций инструктора поддерживается программно. Сценарий задаёт глобальный маршрут и локальные действия. Интерфейс выводит текущую цель, сообщение и контрольный список. Интерактивные объекты принимают пользовательский ввод и изменяют состояние только после проверки сценарным менеджером. Общая схема информационного обеспечения приведена на рисунке 1.

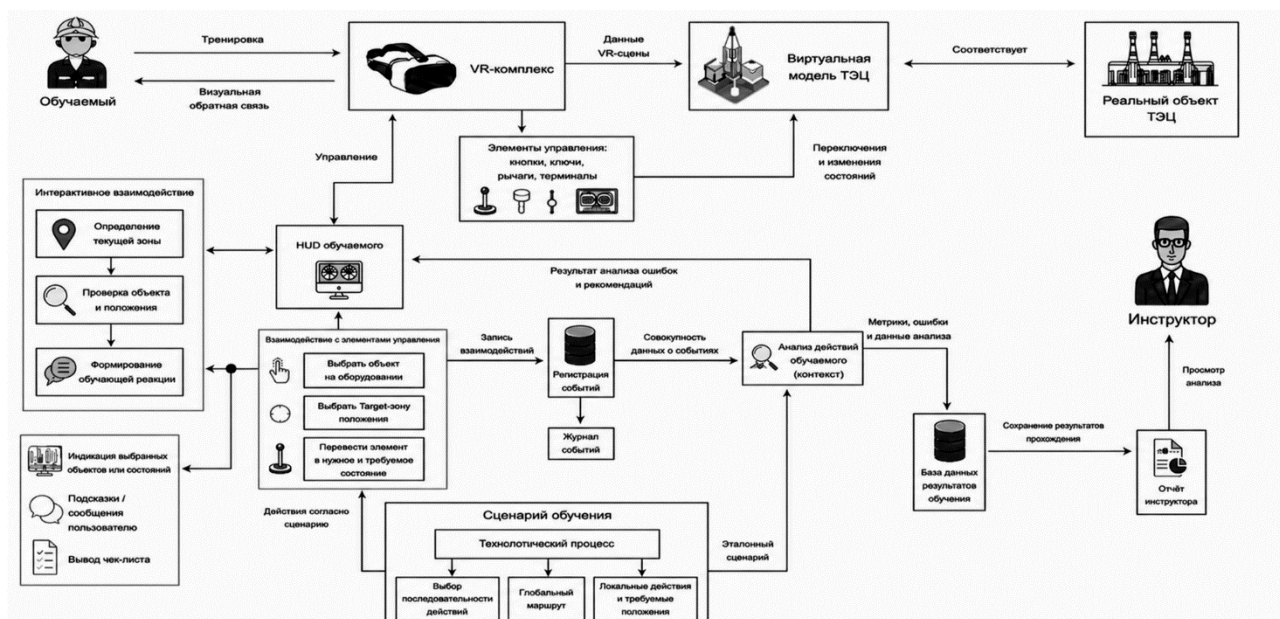


Рис. 1 – Схема информационного обеспечения процесса обучения персонала ТЭЦ с применением виртуального тренажёра (авторский рисунок)

Схема отражает связь обучаемого, виртуальной модели ТЭЦ, элементов управления, сценарного модуля, регистрации событий, анализа действий и интерфейса. Подсистема интерактивного взаимодействия получает текущий шаг и результат проверки, после чего формирует реакцию виртуальной сцены. Такая организация отделяет логику сценария от конкретной геометрии объекта и упрощает совместно с разработкой программного комплекса [15].

Функциональное представление процесса

Контекстная функциональная модель рассматривает обучение как единый процесс. Входами являются сведения об обучаемом, сценарий, виртуальное пространство, действия пользователя и состояние объектов. Управление задают Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

бланк переключений, технологический процесс, правила прохождения и инструкции по работе в электроустановках. Механизмами выступают обучаемый, программные модули регистрации, анализа и интерактивного взаимодействия. На выходе формируются результаты обучения и рекомендации. Контекстная модель приведена на рисунке 2.

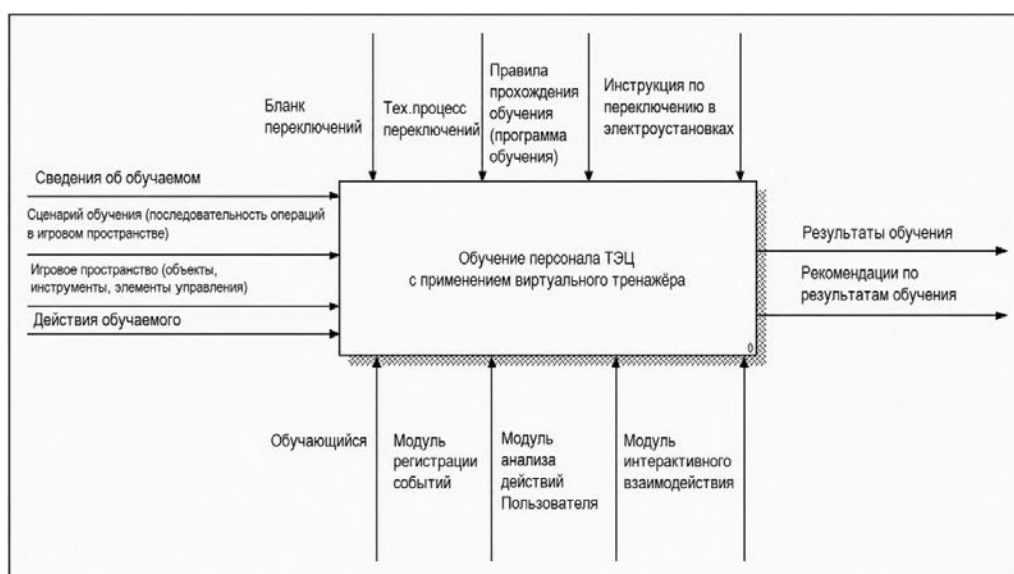


Рис. 2 – Контекстная функциональная модель процесса обучения персонала ТЭЦ с применением виртуального тренажёра (авторский рисунок)

Декомпозиция первого уровня выделяет регистрацию событий, анализ действий и интерактивное взаимодействие. Первый блок принимает действия пользователя и формирует структурированное событие. Второй блок сопоставляет его с текущим требованием сценария. Третий блок изменяет состояние виртуального объекта, обновляет интерфейс и предоставляет обучаемому обратную связь. Декомпозиция представлена на рисунке 3.

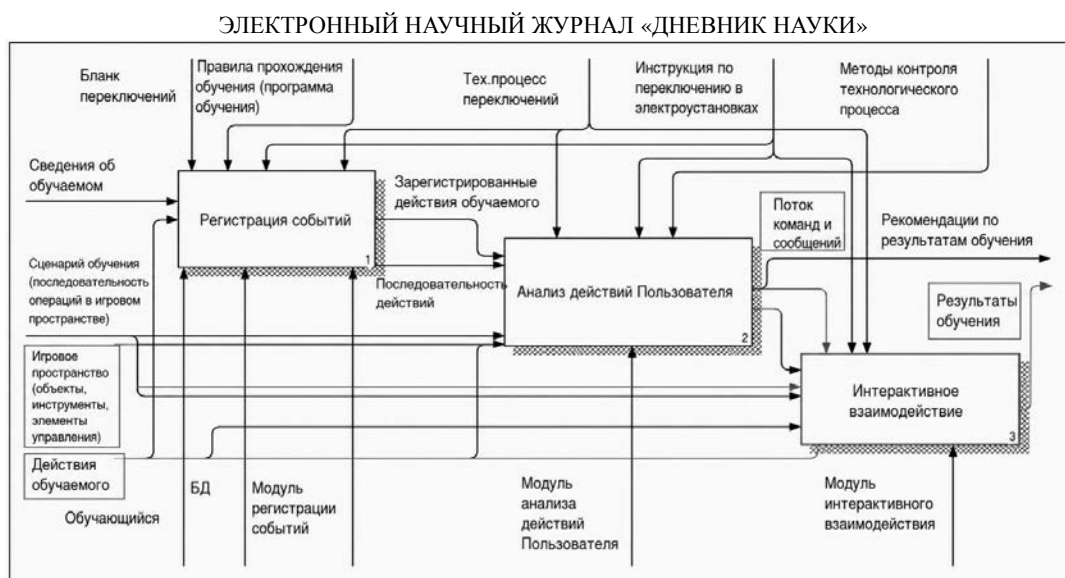


Рис. 3 – Декомпозиция функциональной модели процесса обучения персонала ТЭЦ (авторский рисунок)

Обмен между блоками выполняется через данные. Интерактивный объект не определяет самостоятельно, является ли действие правильным. Он передаёт идентификатор, тип и фактические параметры в сценарный менеджер. После проверки объект получает разрешение на изменение состояния либо сообщение о причине отклонения. Подобное разделение ответственности соответствует модульному подходу к разработке виртуальных тренажёрных комплексов [3; 8].

Роли пользователей и последовательность интерактивных действий

В системе выделены две пользовательские роли. Обучаемый запускает учебный сценарий, следует маршруту между зонами, просматривает текущую цель и контрольный список, выбирает объект, положение или инструмент и получает подсказку при отклонении от требуемого действия. Инструктор не участвует в каждой локальной операции, но после прохождения просматривает результаты и журнал зарегистрированных событий.

Основной пользовательский сценарий состоит из нескольких связанных операций: перехода в требуемую зону, выбора интерактивного объекта, выполнения простого действия или выбора положения органа управления, получения подсказки и контроля выполненных пунктов. Каждая операция

передаётся сценарному менеджеру, а сведения о взаимодействии автоматически направляются в аналитический контур.

Последовательность работы раскрывается диаграммой активности на рисунке 4. После запуска система выводит цель и маршрут. Вход в зону регистрируется и сравнивается со сценарием. При правильной зоне активируется локальный список действий. Каждое действие проходит проверку, после чего система изменяет состояние объекта, обновляет HUD и определяет, завершён ли текущий этап.

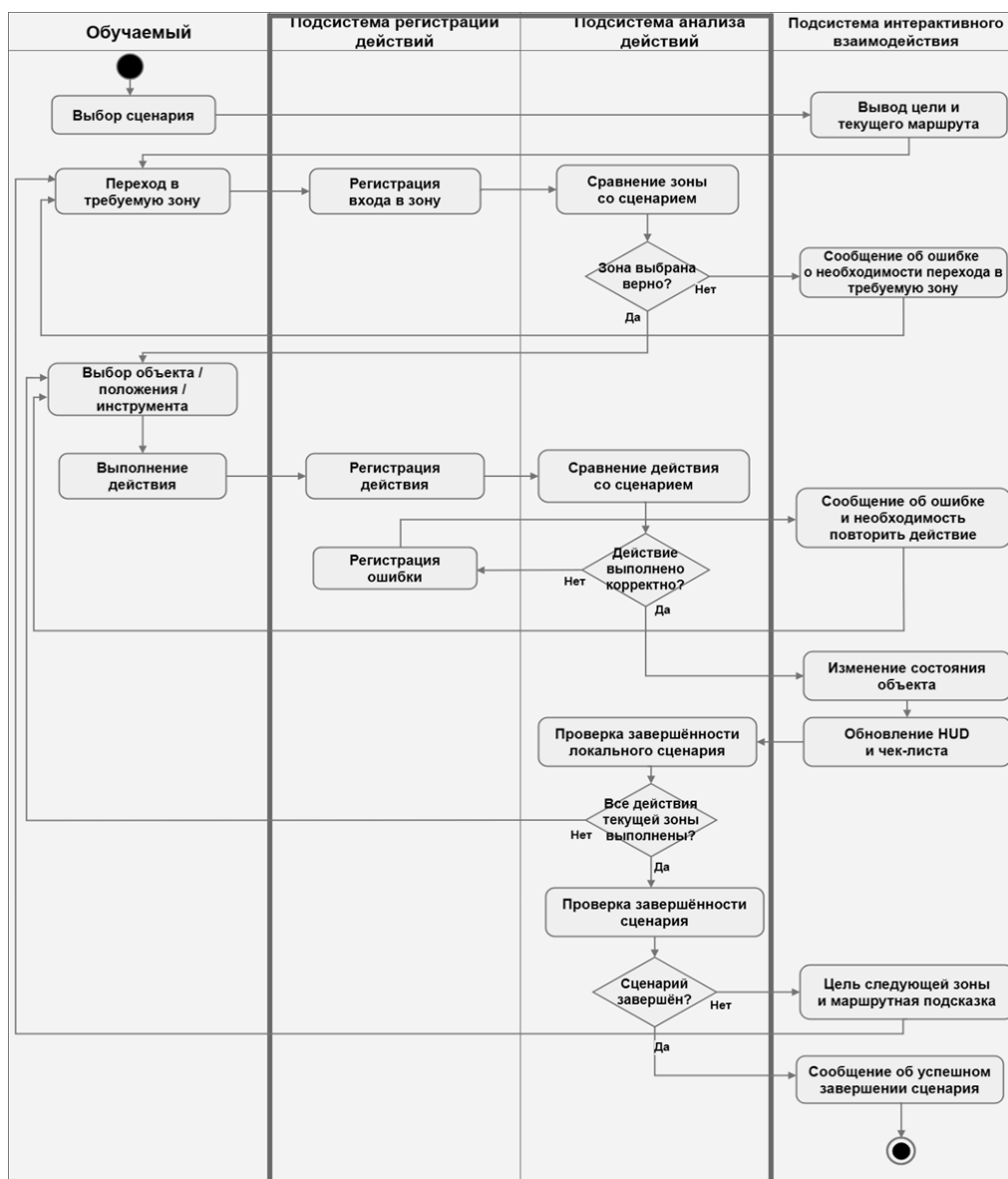


Рис. 4 – Диаграмма активности интерактивного выполнения учебного сценария
(авторский рисунок)

Если выбрана неверная зона, объект или позиция, сценарий не завершается, и итоговая оценка немедленно не выставляется. Пользователь получает обучающее сообщение и возвращается к текущему шагу. Такой режим соответствует назначению тренажёра как средства практического обучения, а не только экзаменационного контроля.

Формализация интерактивной проверки действия

Сценарий представляется упорядоченной последовательностью зон и локальных действий. Для текущего шага задаются требуемая зона, объект, тип действия, положение и инструмент. Фактическое действие формируется из параметров пользовательского ввода. Условие корректности записывается в виде:

$$C_k = 1, \text{ если } z_f = z_k \wedge o_f = o_k \wedge t_f = t_k \wedge p_f = p_k \wedge u_f = u_k$$

где C_k – результат проверки k -го действия; z_f и z_k – фактическая и требуемая зоны; o_f и o_k – фактический и требуемый объекты; t_f и t_k – типы действий; p_f и p_k – положения органа управления; u_f и u_k – фактический и требуемый инструменты. Параметры, которые не используются для конкретного действия, исключаются из сравнения.

При $C_k = 1$ состояние объекта изменяется, действие отмечается выполненным, а контрольный список обновляется. При $C_k = 0$ система классифицирует отклонение и формирует подсказку. Последовательная проверка зоны, объекта, положения и инструмента соответствует общим принципам построения алгоритмов виртуальных тренажёров [10; 11].

Таблица 1 – Реакции системы на результат интерактивной проверки

Результат	Условие	Реакция сцены	Сообщение обучаемому
Correct	Параметры соответствуют текущему требованию	Изменение состояния, фиксация выполнения	Переход к следующему действию

WrongZone	Выбрана неверная сценарная зона	Состояние объектов не изменяется	Перейти в требуемую зону
WrongObject	Выбран другой объект или нарушен порядок	Действие отклоняется	Выполнить текущий пункт контрольного списка
WrongPosition	Объект выбран верно, положение неверно	Положение не принимается	Выбрать требуемое положение
AlreadyCompleted	Повторное изменение выполненного действия	Повторное изменение блокируется	Действие уже выполнено

Информационная модель и классы подсистемы

Информационная модель связывает сценарий, шаг, требуемое действие, маршрутную зону, объект сцены и результат пользовательского ввода. Она отражает данные, необходимые для определения текущего состояния и формирования обратной связи. Применение формальных моделей предметной области облегчает расширение виртуального тренажёра и согласование компонентов [4]. Модель представлена на рисунке 5.

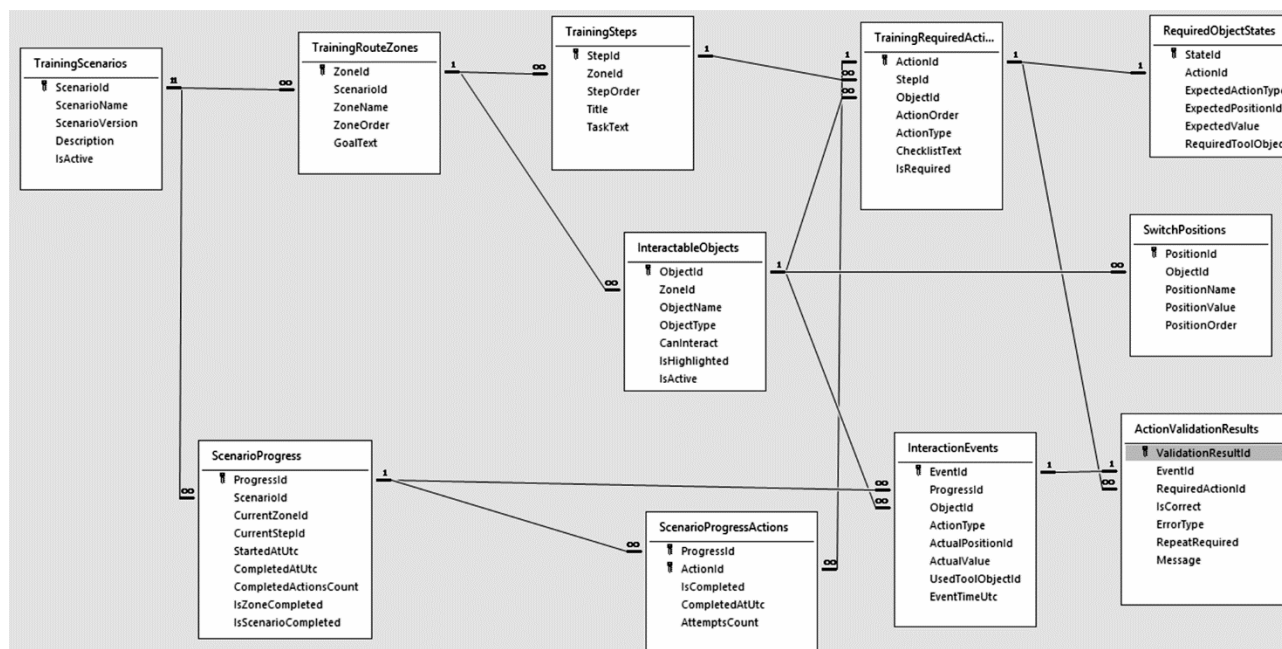


Рис. 5 – Информационная модель подсистемы интерактивного взаимодействия с обучаемым (авторский рисунок)

Центральным классом подсистемы является TrainingScenarioManager. Он хранит упорядоченный список TrainingStep, индекс текущего этапа, идентификатор активной зоны и множество завершённых зон. Менеджер запускает сценарий, принимает сообщения о входе обучаемого в помещение, регистрирует взаимодействия и выбор положения, проверяет выполнение требований и переводит систему к следующему шагу. Связь TrainingScenarioManager с TrainingStep имеет характер композиции: этапы существуют как части конкретного учебного сценария.

Каждый TrainingStep задаёт требуемую зону, заголовок, текст задания и набор локальных TrainingRequiredAction. Обязательное действие содержит идентификатор объекта, тип операции, требуемое положение, строку контрольного списка, признак активности и состояние выполнения. Такая структура позволяет описывать одну и ту же последовательность независимо от геометрии виртуальной сцены. Логическая структура данных показана на рисунке 5.

Алгоритмы управления маршрутом и выполнения обязательных действий

Алгоритм глобального маршрута определяет допустимую последовательность переходов между сценарными зонами. После загрузки этапа система задаёт требуемое помещение и выводит маршрутную подсказку. При входе обучаемого сравнивается идентификатор фактической зоны с идентификатором, указанным в сценарии. Если зона выбрана верно, активируется её локальный набор действий. Если обучаемый отклоняется от маршрута или пытается покинуть незавершённую зону, система сохраняет текущий этап и выводит поясняющее сообщение. Схема алгоритма приведена на рисунке 6.

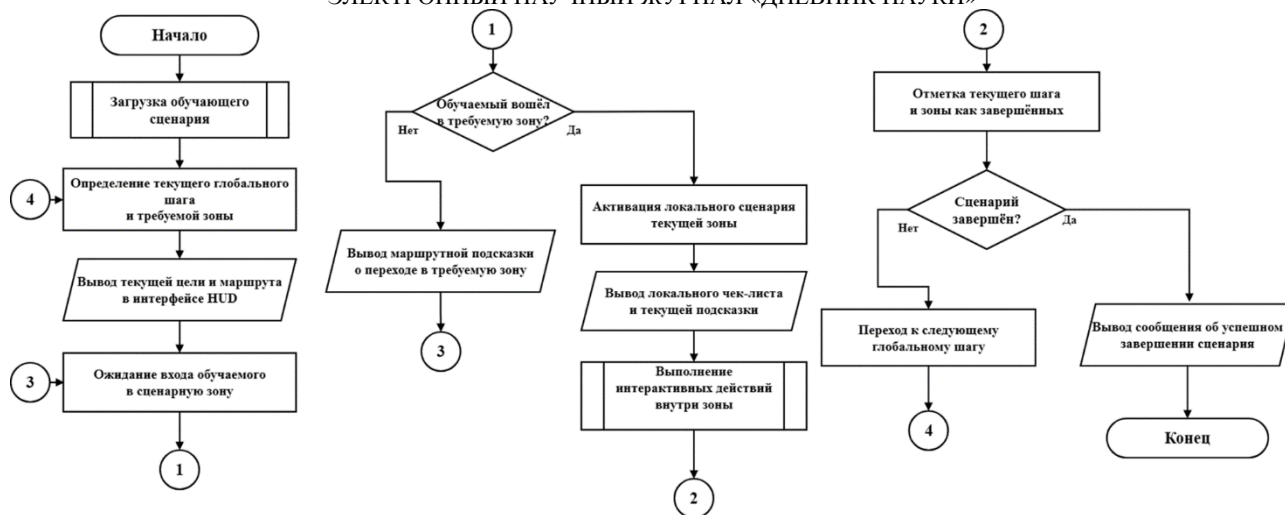


Рис. 6 – Схема алгоритма управления глобальным маршрутом обучаемого (авторский рисунок)

Алгоритм проверки и выполнения обязательного действия запускается после определения первого невыполненного пункта текущей зоны. Система выводит этот пункт в HUD и получает идентификатор выбранного объекта или инструмента. Сначала проверяется соответствие объекта требованию сценария. Если выбран другой объект, его состояние не изменяется, а обучаемый получает подсказку. Для простого действия после успешной проверки вызывается реакция объекта. Если операция требует выбора положения, дополнительно сравниваются фактическая и требуемая позиции. Неверная позиция сохраняет возможность повторного выбора, а правильная приводит элемент в заданное состояние и блокирует повторное изменение. После этого действие отмечается выполненным, обновляется контрольный список и выбирается следующий обязательный пункт. Схема алгоритма показана на рисунке 7.

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

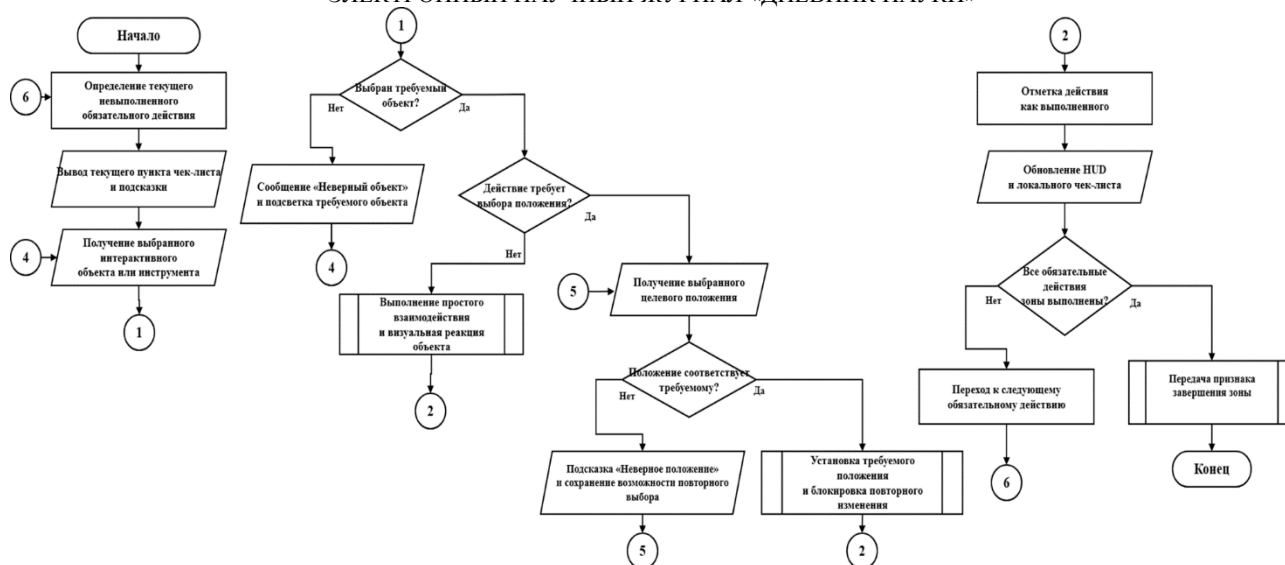


Рис. 7 – Схема алгоритма проверки и выполнения обязательного действия в текущей сценарной зоне (авторский рисунок)

Все объекты обращаются к единому сценарному менеджеру, поэтому одинаковая последовательность проверки применяется к кнопкам, дверям, ключам, переключателям и переносным инструментам. Различается только способ получения фактических параметров и визуальная реакция объекта. Диаграмма классов программной реализации приведена на рисунке 8.

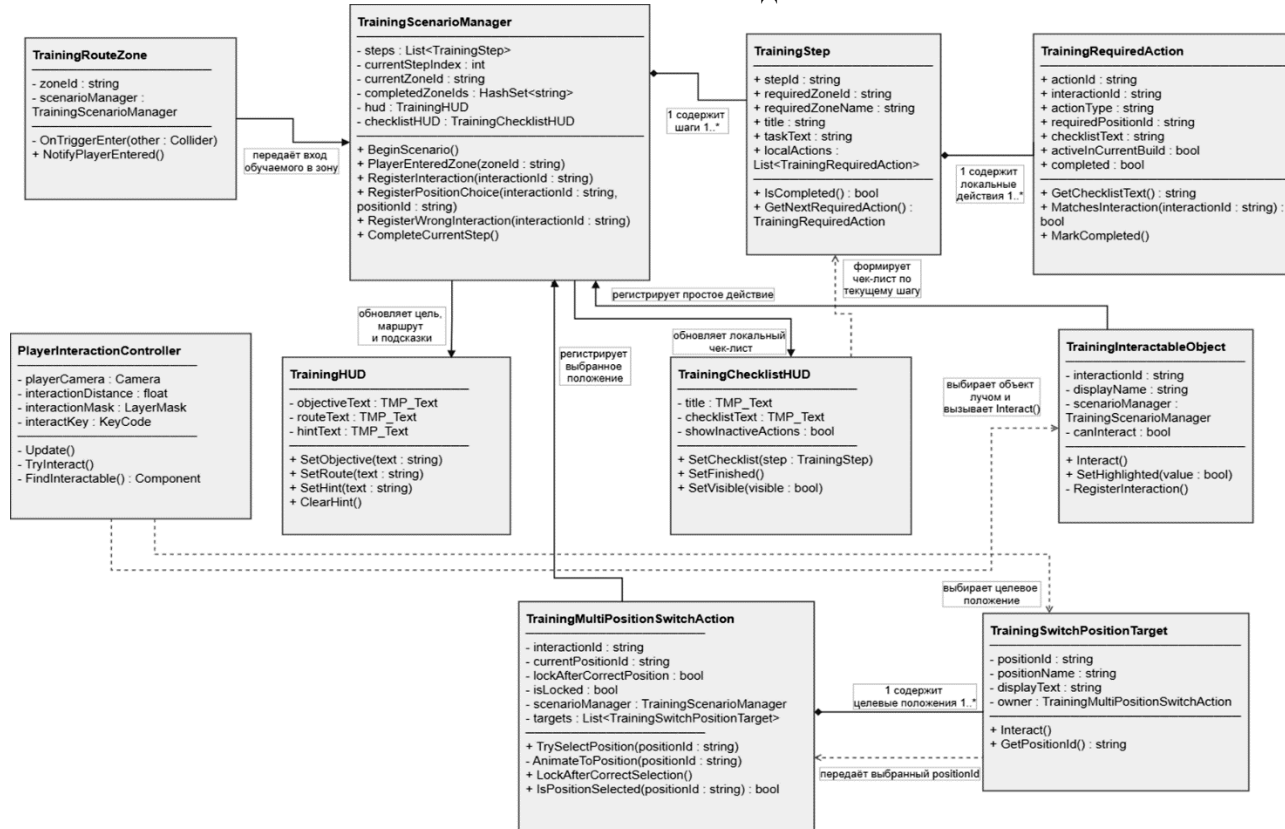


Рис. 8 – Диаграмма классов подсистемы интерактивного взаимодействия (авторский рисунок)

Вход обучаемого в помещение обрабатывает `TrainingRouteZone`. Компонент хранит идентификатор зоны и ссылку на `TrainingScenarioManager`, а при срабатывании триггера передаёт менеджеру сведения о фактическом местоположении. Пользовательский ввод принимает `PlayerInteractionController`. Он формирует луч из камеры, ограничивает дальность и маску поиска, находит доступный компонент и вызывает его метод взаимодействия.

Простые операции реализует `TrainingInteractableObject`. Класс хранит `interactionId`, отображаемое имя, ссылку на сценарный менеджер и признак доступности, а также управляет подсветкой и передачей действия на проверку. Для многопозиционного органа управления используется `TrainingMultiPositionSwitchAction`. Он хранит текущее положение, список `TrainingSwitchPositionTarget` и признак блокировки после правильного выбора.

Каждый целевой объект `TrainingSwitchPositionTarget` содержит собственный `positionId` и передаёт выбранное значение владельцу переключателя.

`TrainingHUD` и `TrainingChecklistHUD` не принимают решений о правильности действий. Первый компонент выводит цель, маршрут и подсказку, второй формирует список обязательных операций по данным `TrainingStep`. Обновление обоих интерфейсных компонентов выполняет `TrainingScenarioManager`. Поэтому сценарная логика, ввод, реакция оборудования и отображение информации разделены между самостоятельными классами, а добавление нового интерактивного объекта не требует изменения общей последовательности прохождения.

Архитектура и программная реализация

Программная структура объединяет главное меню, модуль ввода, виртуальную сцену, сценарный модуль, интерактивные объекты, пользовательский интерфейс, регистрацию событий, анализ действий и кабинет инструктора. Главное меню создаёт контекст сеанса и передаёт управление в учебную сцену. Модуль ввода получает команду пользователя, интерактивный компонент определяет выбранный объект, а сценарный менеджер сопоставляет действие с текущим требованием. После проверки сцена изменяет состояние оборудования или оставляет его без изменения, интерфейс выводит результат, а сведения о взаимодействии передаются модулю регистрации.

Таким образом, подсистема интерактивного взаимодействия занимает промежуточное положение между пользовательским вводом, описанием сценария и виртуальным оборудованием. Она не рассчитывает итоговую оценку и не формирует отчёт самостоятельно. Эти задачи выполняются аналитическим контуром, который получает зарегистрированные события, сохраняет результаты и предоставляет их кабинету инструктора.

Программная реализация выполнена в Unity на языке C#. Текущая сборка отлаживается в настольном режиме. Скрипт `PlayerInteractionController`

формирует луч из камеры, определяет объект и вызывает его метод взаимодействия. Подключение OpenXR и XR Interaction Toolkit рассматривается как следующий этап, при этом сценарные правила и классы объектов могут быть сохранены.

TrainingScenarioManager управляет десятью этапами сценария и активными локальными действиями. TrainingRouteZone обрабатывает вход в зону. TrainingHUD выводит цель, маршрут, сообщение и текст взаимодействия. TrainingChecklistHUD показывает обязательные операции текущего шага. TrainingHighlightTarget включает визуальное выделение только для объекта, соответствующего текущему требованию.

Таблица 2 – Назначение основных программных компонентов

Компонент	Назначение	Результат работы
TrainingScenarioManager	Управление этапами, маршрутом и локальными действиями	Текущий шаг и результат проверки
PlayerInteractionController	Получение пользовательского ввода и поиск объекта	Команда выбранному объекту
TrainingRouteZone	Контроль входа в сценарную зону	Подтверждение или отклонение маршрута
TrainingInteractableObject	Простое взаимодействие с объектом	Регистрация действия и изменение состояния
TrainingMultiPositionSwitchAction	Работа с многопозиционным органом управления	Выбор и блокировка положения
TrainingHUD / TrainingChecklistHUD	Вывод цели, подсказки и контрольного списка	Обратная связь обучаемому
TrainingHighlightTarget	Подсветка активного объекта	Визуальная навигация
TrainingPortableTool / TrainingVoltageCheckPoint	Перенос инструмента и проверка точки	Контроль применения требуемого инструмента

Практическое выполнение интерактивных операций

В сценарной зоне активный объект подсвечивается, а HUD отображает текущую задачу. На рисунке 9 показан выключатель, выбранный для выполнения первого действия с ячейкой. Подсветка служит ориентиром и не изменяет логику проверки.

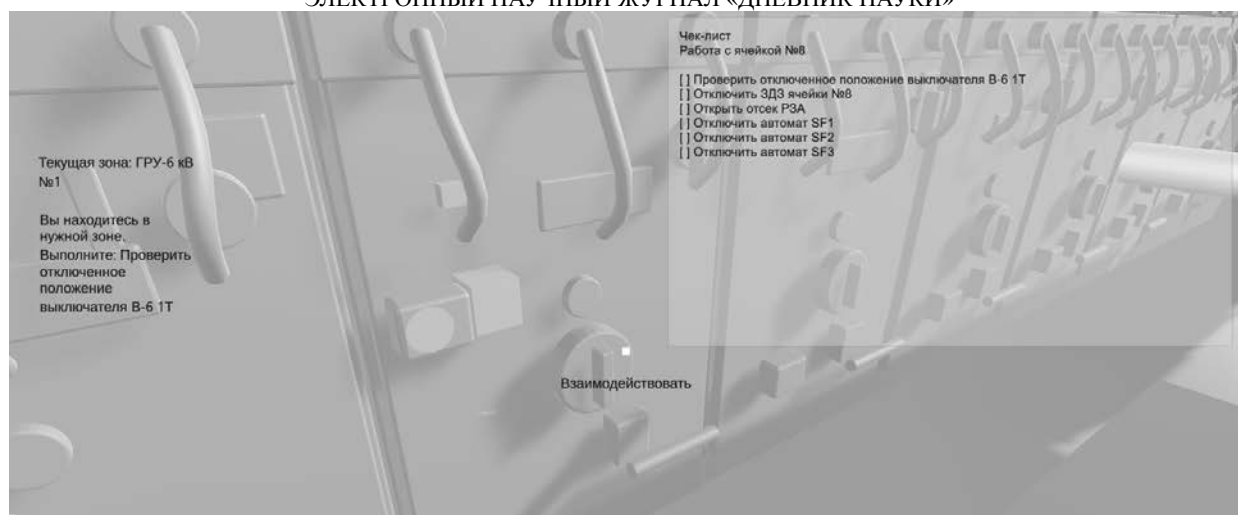


Рис. 9 – Подсветка выключателя, соответствующего текущему действию (авторский рисунок)

После выполнения требуемых операций система переводит обучаемого к открытию отсека. Дверца шкафа реализована как интерактивный объект с анимацией и собственным идентификатором. Взаимодействие осуществляется только в требуемый момент сценария. Пример показан на рисунке 10.

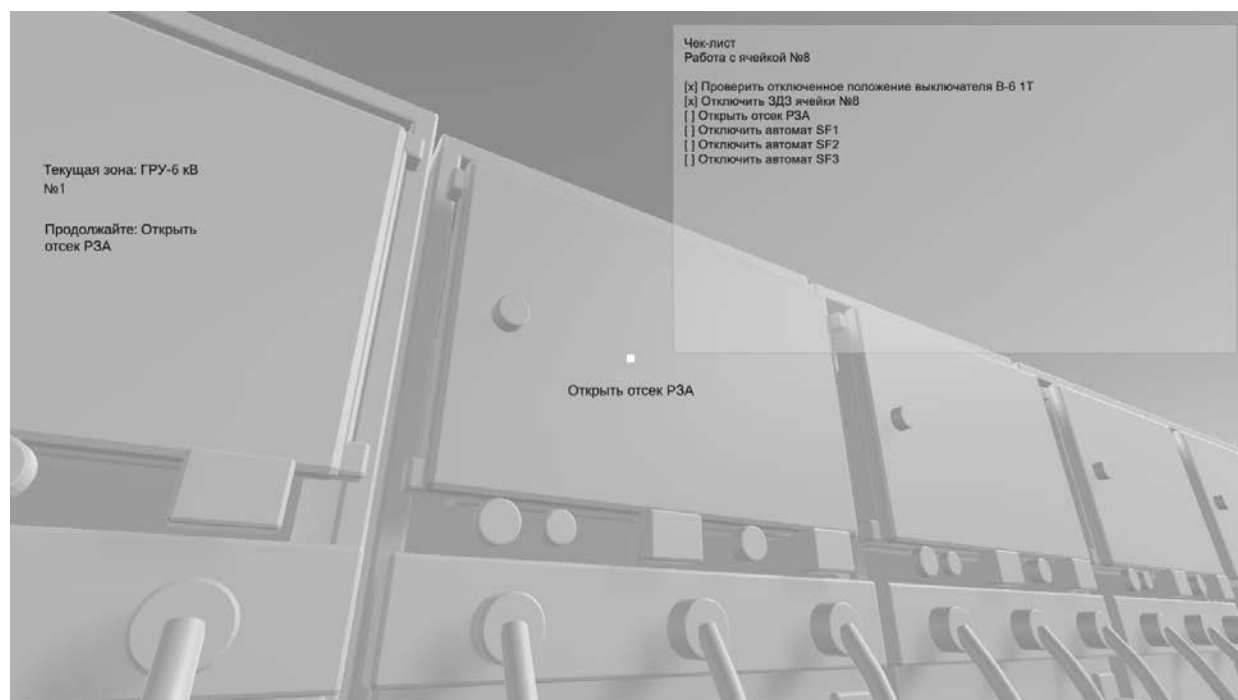


Рис. 10 – Открытие отсека распределительного устройства (авторский рисунок)

Внутри отсека становятся доступны следующие элементы управления. При наведении HUD показывает команду взаимодействия, а сценарный менеджер сопоставляет выбранный автомат с текущим пунктом контрольного списка. Пример представлен на рисунке 11.



Рис. 11 – Взаимодействие с элементом управления внутри открытого отсека (авторский рисунок)

Отдельная группа действий связана с переносным указателем напряжения УВН-10 кВ. Система подсвечивает инструмент, когда его выбор предусмотрен текущим шагом. TrainingPortableTool и TrainingToolCarrier обеспечивают взятие, удержание и освобождение инструмента. Выбор показан на рисунке 12.



Рис. 12 – Выбор переносного указателя напряжения УВН-10 кВ
(авторский рисунок)

После взятия инструмент закрепляется в точке удержания перед пользователем. Контрольный список обновляется, а HUD выводит порядок освобождения инструмента. Состояние удержания представлено на рисунке 13.



Рис. 13 – Удержание переносного инструмента обучаемым (авторский рисунок)

Для проверки отсутствия напряжения на оборудовании используются TrainingToolProbe и TrainingVoltageCheckPoint. Точка принимает действие только при наличии требуемого инструмента и его удержании пользователем.

Такой механизм исключает выполнение проверки без предварительного выбора УВН-10 кВ. Подготовка к операции показана на рисунке 14.



Рис. 14 – Подготовка указателя напряжения к выполнению проверки (авторский рисунок)

Полученные результаты

Предложенная структура поддерживает интерактивные операции различной сложности: вход в зону, нажатие кнопки, выбор положения, открытие двери, перенос инструмента и контакт с контрольной точкой. Все действия обращаются к единому сценарию и используют одинаковую схему проверки. Это позволяет добавлять новые объекты без изменения общего алгоритма.

HUD и контрольный список уменьшают неопределённость при прохождении. Подсветка применяется только для текущего объекта и отключается после выполнения. Ошибочное действие не изменяет состояние оборудования, поэтому обучаемый может повторить операцию после подсказки. Такой способ сопровождения согласуется с назначением виртуального тренажёра как безопасной среды формирования практических навыков [3; 6].

Регистрация интерактивных действий создаёт данные для последующего анализа. Последовательность зон, объектов и положений позволяет восстановить ход попытки и объяснить полученный результат. Такое разделение интерактивного и аналитического контуров соответствует принятой структуре программного комплекса и ранее сформулированным принципам развития виртуального тренажёра ТЭЦ [7; 13]. При этом интерактивная подсистема не рассчитывает итоговую оценку самостоятельно, а передаёт события отдельному аналитическому компоненту.

Ограничением текущей реализации является настольный способ ввода. Он используется для отладки сценарной логики до подключения VR-оборудования. Дальнейшее развитие связано с переносом ввода на контроллеры, реализацией захвата объектов, привязкой интерфейса к VR-пространству и проверкой удобства взаимодействия с участием обучаемых.

Заключение

Разработаны модели и программные средства интерактивного взаимодействия при выполнении учебного сценария в виртуальном тренажёре ТЭЦ. Функциональная модель определяет место интерактивной реакции в общем процессе обучения. Роли пользователей описаны через доступные им операции, а диаграмма активности показывает последовательность обработки действий. Информационная модель связывает сценарий, шаги, зоны, требуемые действия и объекты сцены.

Предложены алгоритмы управления глобальным маршрутом и выполнения обязательных действий внутри сценарной зоны. Проверка учитывает зону, объект, тип операции, положение и применяемый инструмент. При правильном действии изменяется состояние оборудования и обновляется контрольный список. При отклонении система сохраняет состояние и выводит обучающую подсказку.

Практическая реализация охватывает HUD, контрольный список, подсветку, простые и многопозиционные элементы, открытие отсеков, перенос инструмента и проверку отсутствия напряжения. Разделение сценарного менеджера, объектов сцены и интерфейса создаёт основу для подключения VR-ввода и расширения учебного сценария.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 9241-11-2010. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDT). Часть 11. Руководство по обеспечению пригодности использования. Введ. 01.12.2011. М.: Стандартиформ, 2018.
2. ГОСТ Р ИСО 9241-210-2016. Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 210. Человеко-ориентированное проектирование интерактивных систем. Введ. 01.12.2017. М.: Стандартиформ, 2016.
3. Грибова В. В., Стрекалёв В. О. Инструментальный комплекс для иммерсивных виртуальных тренажёров с биологической обратной связью // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2020. № 8. С. 19–28.
4. Грибова В. В., Стрекалёв В. О. Комплекс онтологий для виртуальных тренажёров с биологической обратной связью // Онтология проектирования. 2022. Т. 12, № 2(44). С. 172-185.
5. Денисов С. Г. Цифровые двойники и новые человеко-машинные интерфейсы: возможности дополненной и виртуальной реальности // Бюллетень инновационных технологий. 2023. Т. 7, № 4(28). С. 25–29.
6. Жабицкий М. Г., Кулак С. А., Новикова А. С. Проблема разработки VR-тренажеров сборки и разборки и вариант высокопроизводительного решения на базе технологии VR Concept // International Journal of Open Information Technologies. 2022. Т. 10, № 8. С. 18–29.

7. Каримов Р. Р. Системное моделирование процесса обучения операторов ТЭЦ с применением виртуального тренажёра // Цифровые технологии и искусственный интеллект в организационно-технических системах. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2024. С. 146-165.
8. Краснянский М. Н., Остроух А. В., Баринов К. А., Дедов Д. Л., Руднев А. А. Виртуальные тренажёрные комплексы для обучения и тренинга персонала химических и машиностроительных производств // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2011. Т. 17, № 2. С. 497-501.
9. Об утверждении Правил работы с персоналом в организациях электроэнергетики Российской Федерации: приказ Минэнерго России от 22.09.2020 № 796 (ред. от 09.12.2024). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_374368/ (дата обращения: 25.06.2026).
10. Остроух А. В., Краснянский М. Н., Карпушкин С. В., Дедов Д. Л. Алгоритм проектирования виртуальных тренажёрных комплексов для обучения операторов технических систем // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2012. № 3. С. 68-75.
11. Остроух А. В., Краснянский М. Н., Карпушкин С. В., Дедов Д. Л., Руднев А. А. Технология интерактивного 3D-моделирования для разработки виртуальных тренажёрных комплексов // Дистанционное и виртуальное обучение. 2011. № 10. С. 4-12.
12. Старостина В. А., Воробьев В. В., Рагозина М. А., Юрковская Г. И. AR и VR технологии в обучении производственного персонала // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: материалы V Международной научно-практической конференции. Т. 2. Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, 2019. С. 985– 987.
13. Харунов Р. Р., Галиев Б. В. Геймификация операционной деятельности на ТЭЦ: от VR-тренажёра к системе повышения компетенций и безопасности //

Мавлютовские чтения: материалы XIX Всероссийской молодёжной научной конференции. В 8 т. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2025. С. 1168-1174.

14. Цифровые технологии и искусственный интеллект в организационно-технических системах / А. В. Воробьев, М. А. Верхотуров, С. В. Тархов, Р. Р. Каримов [и др.]. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2024. 258 с. ISBN 978-5-7477-5910-7.

15. Юмадилова И. Р., Арсланов Т. Р., Макаев Р. А. Информационная поддержка процесса групповой разработки виртуального тренажёра для обучения персонала производственного объекта // Мавлютовские чтения: материалы XIV Всероссийской молодёжной научной конференции. Т. 5, ч. 3. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2020. С. 47.