

УДК 004.582

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПО СБОРКЕ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ АТОМНОЙ СТАНЦИИ ВВЭР-1000

© 2022 Д.Г. Коваленок¹, А.О. Толоконский^{1,*}

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, 115409, Россия

*e-mail: toloconne@yandex.ru

Поступила в редакцию: 09.01.2023

После доработки: 12.01.2023

Принята к публикации: 24.01.2023

С развитием компьютерных технологий появилась возможность для моделирования и разработки тренажерных систем для различных сложных и опасных объектов управления, которые достаточно широко используют компьютерную графику. Первоначально компьютерная графика использовалась в основном для проектов игровой индустрии развлечений, таких как кино и приложения для игр, причем параллельно появляются первые компьютерные модели объектов управления. Развитие технологий компьютерной графики позволяет создавать трехмерные модели для технических систем ядерной энергетики. Моделирование в трехмерном пространстве дает возможность создавать компьютерные принципиально новые тренажеры для подготовки обслуживающего персонала АЭС. Данная статья посвящена разработке программного обеспечения по визуализации установки компоновки ТВС. Приведены сведения об архитектуре тренажерной системы, ее состав и описание, а также визуальная часть. Разработаны мнемосхемы управления линией установок сборки твэлов. Разработанный тренажер предоставляет визуальную информацию на участке компоновки ТВС. Были визуализированы установки, такие как стол подачи комплектующих, рольганг для подачи ВТУК, установка разборки магазина с твэлами, установка позиционирования твэлов по координате, установка сборки пучка твэлов, автооператор, укрытие временного хранения. Полученная модель визуализации в данной статье в будущем может использоваться для создания обучающих и тренажерных систем на ядерных объектах.

Ключевые слова: обучающие тренажеры, трехмерное моделирование, графические объекты, тепло выделяющая сборка, визуальное представление.

DOI: <https://doi.org/10.26583/vestnik.2022.13>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время многие высшие учебные заведения перешли на использование технологий 3D-графики для проведения практических занятий. Так, например, кафедра технологии машиностроения при ВГТУ использует для проведения лабораторных занятий комнату виртуальной реальности. Студенту предоставляется возможность побывать на некотором участке производства, и при этом перед ним стоит задача поместить оборудование и инструменты согласно технике безопасности. Таким образом, каждый студент может спроектировать некоторую часть цеха, а при совместном усилии можно воссоздать целое предприятие. Данная лаборатория предоставляет возможность проводить занятия по многим учебным дисциплинам на одной виртуальной площадке.

В ядерной энергетике также создаются виртуальные энергоблоки АЭС, которые помогают решать задачи на этапе проектирования станций

с реактором типа ВВЭР и БН[1]. Программное обеспечение виртуальных энергоблоков, как правило, функционирует на суперЭВМ и включает в себя программное обеспечение математической модели энергоблока и интерфейс пульта управления. С помощью виртуального пульта управления предоставляется возможность моделировать все возможные ситуации, которые происходят на площадке АЭС, реализовывать планы экспериментов по проверке динамических процессов в основных технологических и электротехнических системах и системах автоматики [2]. Пользователь программного обеспечения виртуального тренажера может перемещаться по макету, изменять масштабирование, просмотреть площадку АЭС и прилегающую к ней территорию, войти внутрь сооружений и увидеть составляющие оборудования. На стадии проектирования АЭС возможно анимировать объекты, задавать им любое технологическое состояние. Технология виртуальной реальности используется в компьютерных

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПО СБОРКЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ АТОМНОЙ СТАНЦИИ ВВЭР-1000

тренажерах ремонтных процессов в учебно-тренировочных центрах АЭС для подготовки персонала обслуживания сложного технологического оборудования [3].

Виртуальные пульта, как правило, создаются с помощью программ виртуального моделирования, при этом моделируется воздействие оператора на элементы управления, движение этих элементов в результате воздействия, создание и расчет функциональной схемы пульта управления.

Область применения трехмерных моделей и виртуальной реальности в ядерной энергетике за последние десять лет активно развивается. Использование возможностей трехмерного моделирования для проверки проектных решений новых и существующих БПУ (блочный пункт управления) АЭС является актуальной задачей.

СОСТАВ И ОПИСАНИЕ ТРЕНАЖЕРА ПО КОМПОНОВКЕ ТВС

В данной статье будет описан разрабатываемый авторами тренажер для обучения персонала по сборке тепловыделяющих элементов для атомной станции ВВЭР-1000. Этот тренажер предназначен для осуществления визуального наблюдения за общей обстановкой, действиями персонала и технологическим процессом сборки и выходного контроля тепловыделяющих сборок в помещениях линии компоновки ТВС. В состав тренажера входят (рис. 1):

1. Управляющий сервер (WebGL):

- 1.1. Рассчитывает модель для управления объектом;
- 1.2. Рассчитывает математическую модель объекта управления;
- 1.3. Передает данные о состоянии оборудования на клиентские машины;
- 1.4. Передает сигнализацию на клиентские машины;
- 1.5. Обрабатывает команды управления от клиентских машин;
- 1.6. Ведет архив данных моделирования.

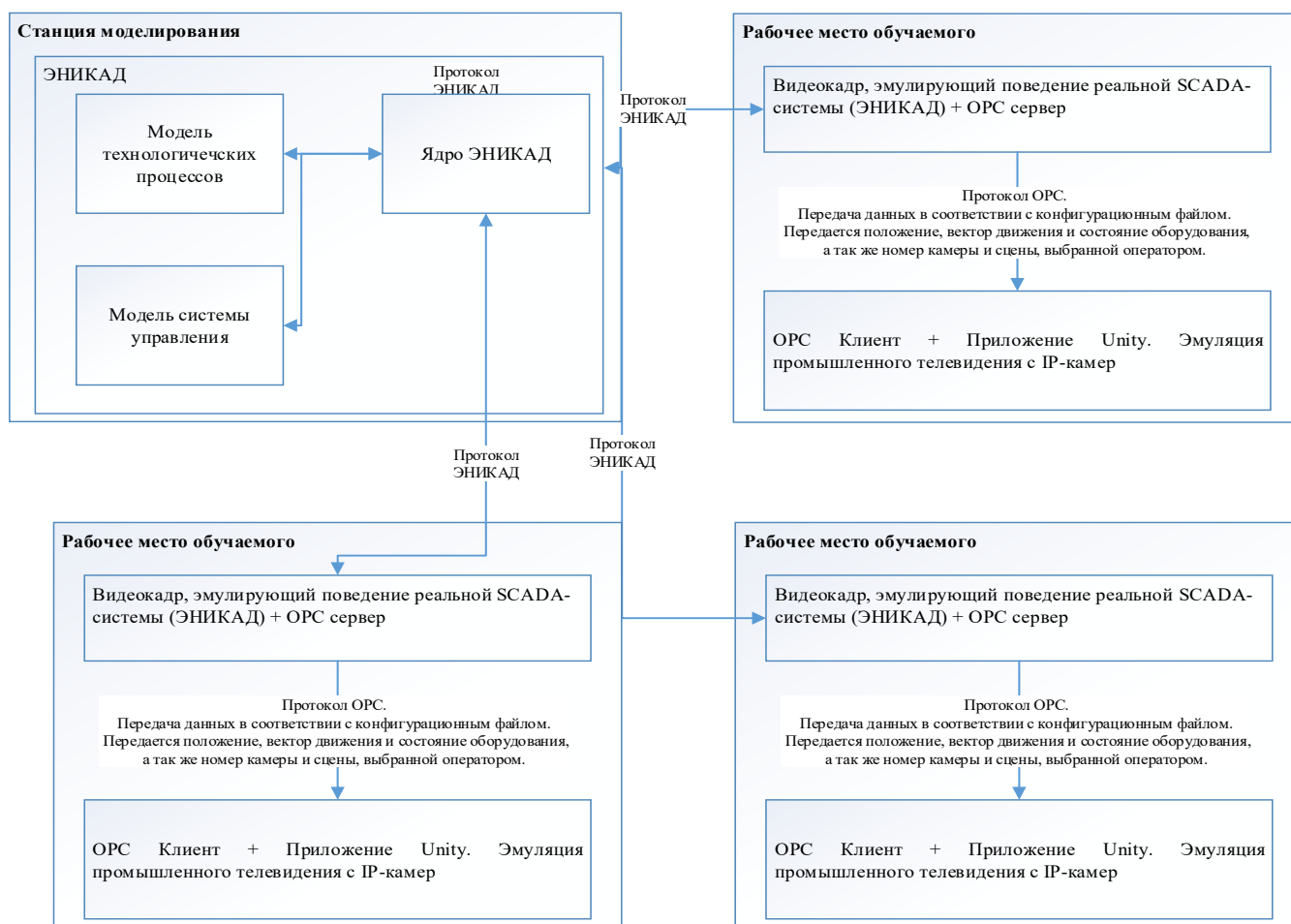


Рис. 1. Архитектура программного тренажера

GIW/ENICAD передает данные в UNITY по протоколу OPC. Для этого используется приложение Server.py, разработанное в рамках данного проекта. Обновление данных происходит асинхронно после завершения каждого шага модели.

2. Сервер визуализации (Unity):

2.1. Формирует 3D-модель на основе команд, полученных от управляющего сервера;

2.2. Обрабатывает команды по выбору камеры от операторских машин;

2.3. Передает запросившей машине данные для формирования видео с выбранной камеры;

2.4. Позволяет с некоторых видеокладов выбрать видеокламеры для визуального контроля состояния оборудования. Видео отображается в приложении Unity с использованием игрового движка Unity;

2.5. Приложение Unity запускается при загрузке тренажера и работает в фоне. При выборе оператором камеры в формате «приложение», «всплывает» поверх всех окон и отображает выбранную сцену;

2.6. Любой оператор может выбрать отображение любой камеры, а также все операторы могут выбрать одну камеру. Номер выбранной камеры передается переменной «Video» (рис. 2).

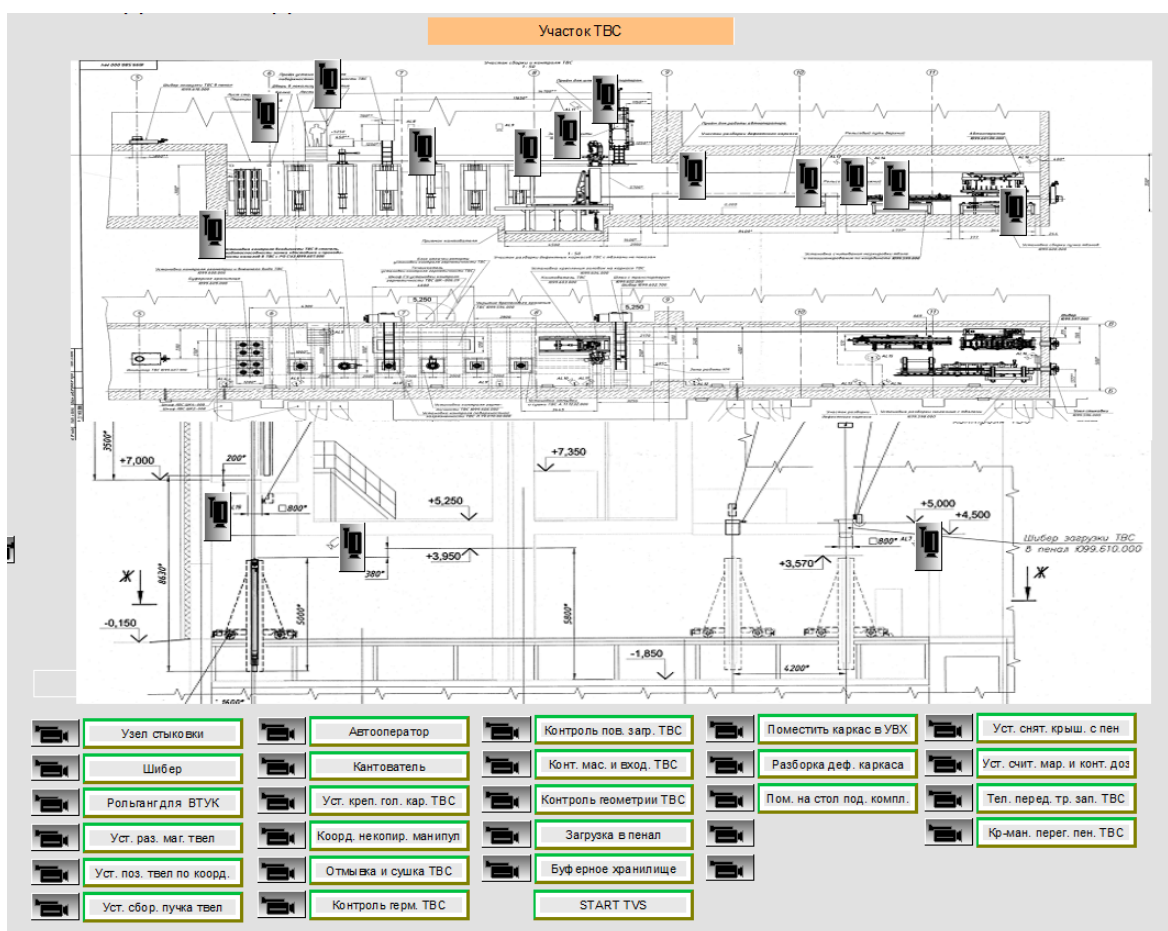


Рис. 2. Видеоклад выбора номера камеры

ВИЗУАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ УЧАСТКА СБОРКИ И КОНТРОЛЯ ТВС

Стол подачи комплектующих с форкамерой. Участок предназначен для проведения входного контроля и подачи твэлов и комплектующих. Технологический стол предназначен для прове-

дения операций по подготовке каркаса ТВС к подаче на участок сборки и контроля ТВС, закреплению каркаса ТВС, в сборке, компоновке головки с хвостовиком, для отсоединения головки ТВС и головки привода замка, перемещения привода замка в исходное положение [5].

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПО СБОРКЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ АТОМНОЙ СТАНЦИИ ВВЭР-1000

Для транспортирования каркаса ТВС по технологическим участкам используется специальное устройство, которое называется «ложемент-свидетель». Оно также предназначено для установки и закрепления каркаса ТВС с хвостовиком на столе подачи комплектующих.

Для того чтобы провести визуальный контроль выполняемой технологической операции, необходимо открыть изображение камеры участка подачи комплектующих, а также от-

крыть соответствующий видеокادر данного участка. На рис. 3 показано, какие параметры установки оператор может контролировать: номера каркаса ТВС, положение шибера форкамеры, наличие ложемента-свидетеля с каркасом ТВС или без него, готовность каркаса ТВС к перемещению в локализирующее укрытие, результат дозиметрического контроля ложемента-свидетеля, извлекаемого из локализирующего укрытия [6].

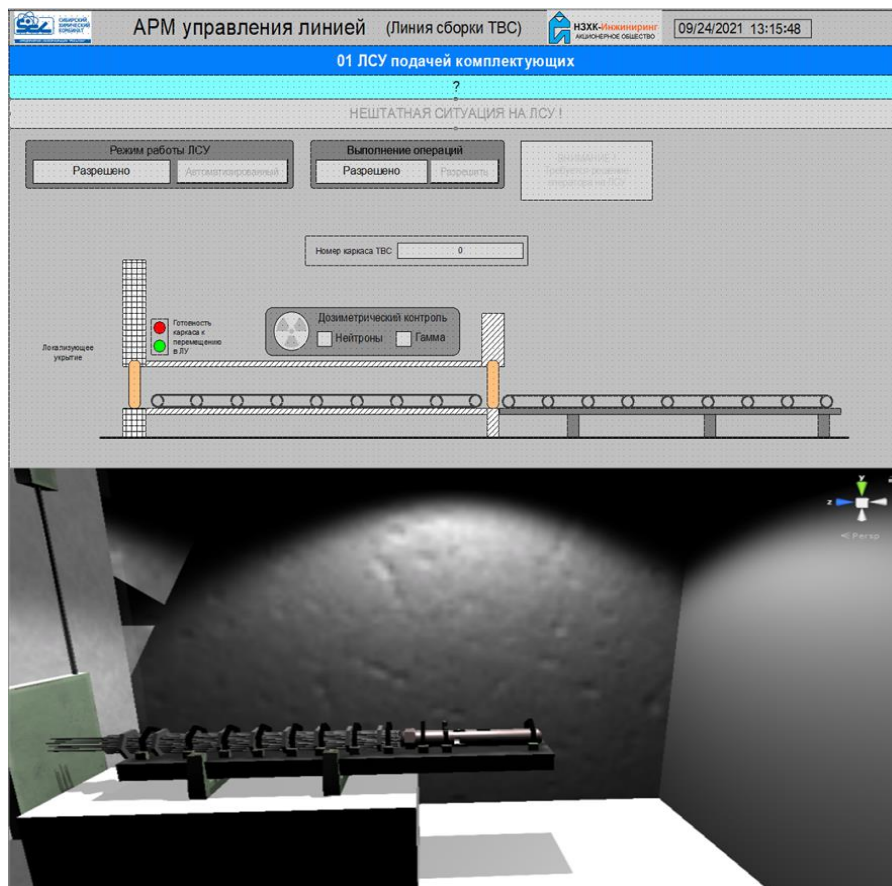


Рис. 3. Стол подачи комплектующих с форкамерой

Рольганг для подачи ВТУК. Эта установка предназначена для перемещения и сопряжения ВТУК с узлом стыковки. Состоит из рольганга, механизма центрирования ВТУК, устройства прижима. Привод рольганга электрический. Центрирующее устройство механическое эксцентриковое. Устройство прижима механическое с винтовым приводом.

Для визуального отображения установки необходимо открыть соответствующую камеру, отображающую ее внешний вид, а также окно видеокadra управления оборудованием установки [6].

На рис. 4 показано, какие параметры установки оператор может контролировать: номер

ВТУК, положение шибера, наличие ВТУК, готовность к извлечению магазина из ВТУК в локализирующее укрытие.

Установка разборки магазина с твэлами. Установка разборки магазина с твэлами предназначена для выполнения таких технологических операций, как: извлечение магазина с твэлами из ВТУК; извлечение твэлов из магазина; передача твэлов на установку считывания маркировки твэла и позиционирования по координате; загрузка пустого магазина во ВТУК; загрузка твэлов, извлеченных из дефектного каркаса ТВС с твэлами, в магазин; загрузка магазина с твэлами, извлеченными из дефектного каркаса ТВС с твэлами, во ВТУК.

В состав установки входят: механизм извлечения магазина с твэлами из ВТУК, устройство выгрузки твэлов из магазина с твэлами, устрой-

ство загрузки твэлов в магазин, механизм транспортный.

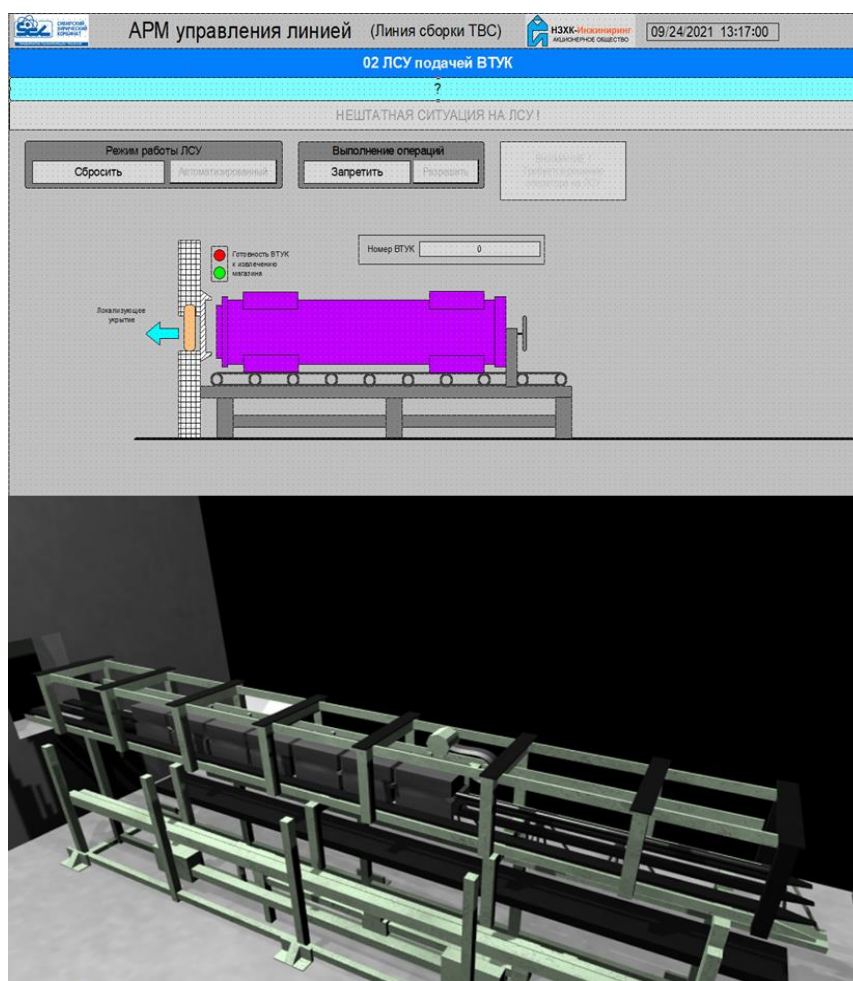


Рис. 4. Рольганг для подачи ВТУК

Механизм извлечения магазина с твэлами из ВТУК предназначен для захвата магазина с твэлами и извлечения его из ВТУК, загрузки во ВТУК порожнего или частично заполненного магазина, а также загрузки во ВТУК магазина с твэлами, извлеченными из дефектного каркаса ТВС с твэлами.

Устройство выгрузки твэлов из магазина с твэлами предназначено для поштучного извлечения твэлов из магазина с твэлами.

Устройство загрузки твэлов в магазин предназначено для поштучной загрузки твэлов, извлеченных из дефектного каркаса ТВС с твэлами. Механизм транспортный предназначен для передачи твэлов, извлеченных из магазина с твэлами, на установку считывания маркировки твэла и позиционирования по координате.

При переключении соответствующей камеры (рис. 5) оператор имеет возможность увидеть внешний вид установки, а при отображении

специального видеокadra – проконтролировать процесс разборки. Контролирующие параметры установки: наличие магазина, номер магазина, наличие твэла и его положение, номер твэла, количество снаряженных или извлеченных твэлов, результат дозиметрического контроля магазина.

Установка позиционирования твэла по координате. Установка считывания маркировки твэла и позиционирования по координате предназначена для выполнения следующих технологических операций: прием твэла с установки разборки магазина с твэлами, считывание маркировки твэла, позиционирование твэла по координате в соответствии с картограммой сборки компоновки ТВС, заталкивание твэла в каркас ТВС с одновременным нанесением смазки на твэл и измерением усилия заталкивания, извлечение твэла из каркаса ТВС при превышении допустимого значения усилия заталкивания.

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА
ПО СБОРКЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ АТОМНОЙ СТАНЦИИ ВВЭР-1000

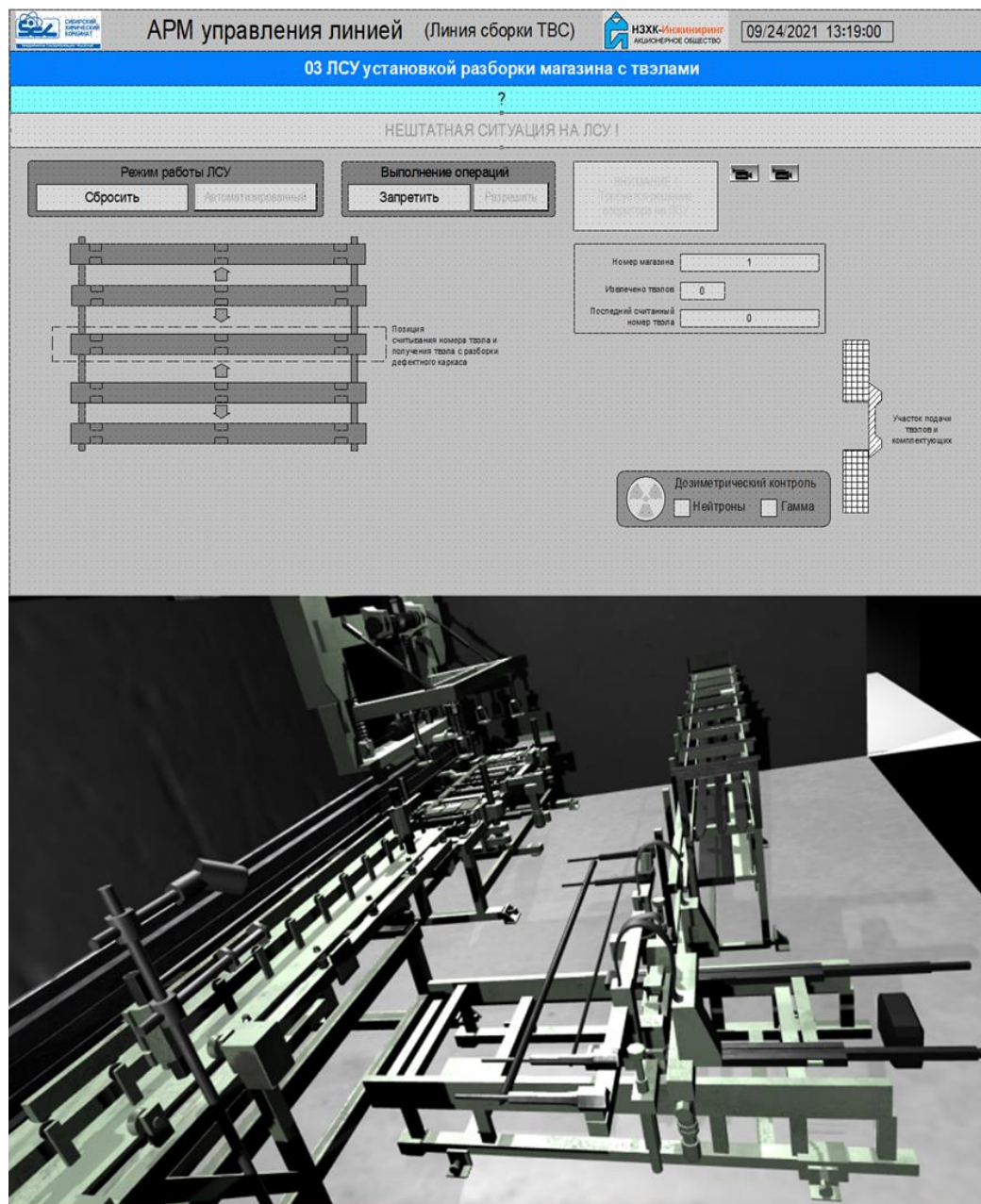


Рис. 5. Установка разборки магазина с ТВЭлами

Состав установки: станина; механизм горизонтального перемещения ТВЭла; механизм заталкивания ТВЭла; узел смазки; устройство извлечения бракованного ТВЭла; устройство контроля усилия заталкивания ТВЭла при прохождении ТВЭла через ячейки дистанционирующих решеток каркаса ТВС; устройство считывания маркировки ТВЭла (располагается на транспортной установке разборки магазина с ТВЭлами).

В состав установки также входит образец-свидетель (имитатор) ТВЭла для проведения настройки и проверки работоспособности оборудования.

Станина представляет собой жесткую сварную раму, на которой установлен механизм горизонтального перемещения.

Механизм горизонтального перемещения предназначен для позиционирования ТВЭла по горизонтали и состоит из линейных направляющих и привода горизонтального перемещения.

Механизм заталкивания состоит из жесткой сварной рамы, на которой установлен линейный привод для заталкивания ТВЭла в каркас ТВС. В процессе заталкивания ТВЭла контролируется усилие заталкивания (рис. 6).

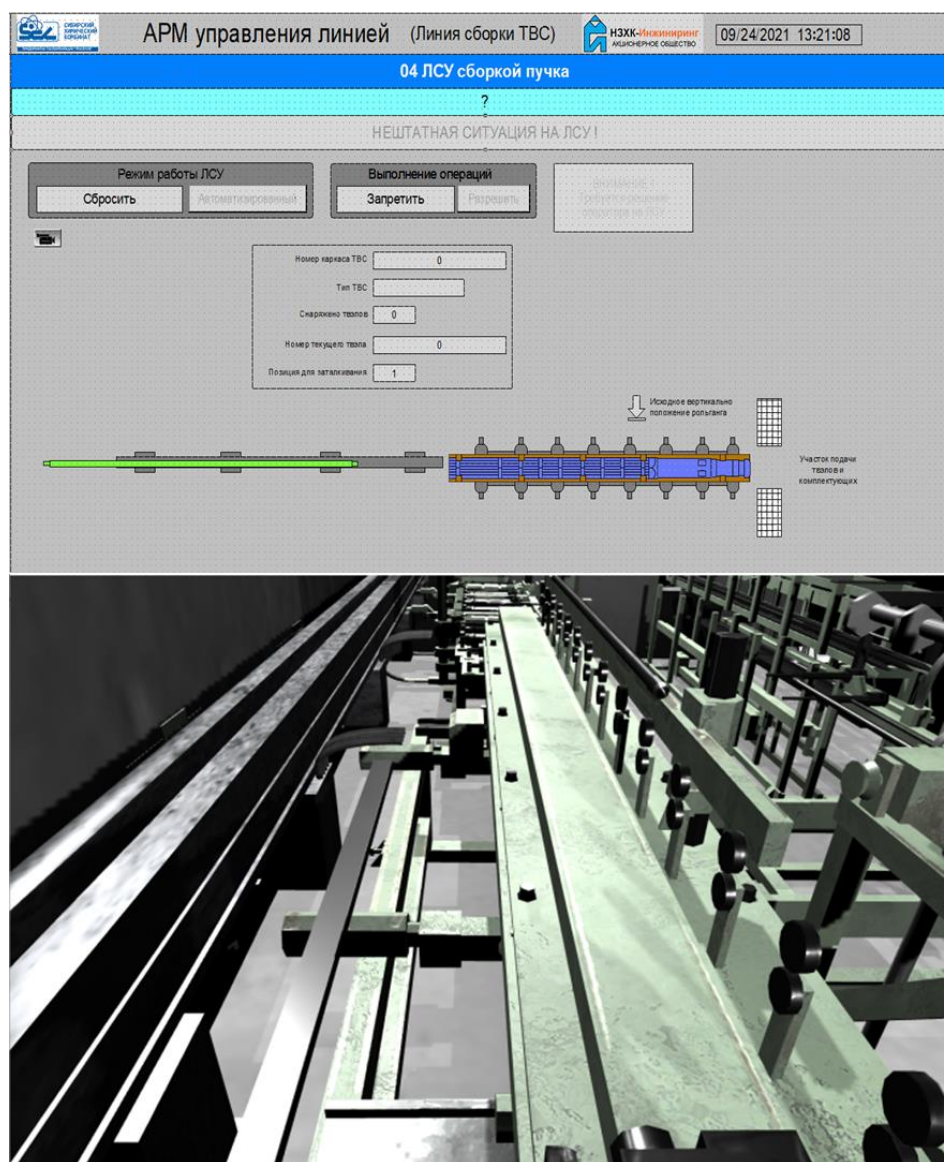


Рис. 6. Установка позиционирования твэла по координате

В случае превышения порогового значения усилия заталкивания процесс заталкивания твэла в каркас ТВС останавливается. Узел смазки предназначен для смазки твэла перед заталкиванием в каркас ТВС и состоит из корпуса, в котором расположены масляные форсунки.

Устройство извлечения бракованного твэла предназначено для извлечения бракованного твэла из каркаса ТВС. Устройство контроля усилия предназначено для контроля усилия заталкивания твэла при прохождении дистанционирующих решеток ТВС.

Средства контроля обеспечивают непрерывный автоматизированный контроль технологических параметров, а также безаварийную работу установки посредством осуществления автоматического управления и технологических блокировок.

Установка сборки пучка твэлов. Данная установка предназначена для приема каркаса ТВС и позиционирования каркаса ТВС по вертикали в соответствии с картограммой сборки компоновки ТВС. Состав установки: станина, механизм вертикального перемещения, стол. Станина представляет собой жесткую сварную раму, на которой установлен механизм вертикального перемещения.

Механизм вертикального перемещения состоит из домкратов и направляющих, с помощью которых осуществляется позиционирование каркаса ТВС по вертикали. Стол представляет собой жесткую сварную конструкцию, на которой устанавливается ложемент-свидетель с зафиксированным каркасом ТВС. Станина и стол по влиянию на безопасность относятся к элементам, важным для безопасности.

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА
ПО СБОРКЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ АТОМНОЙ СТАНЦИИ ВВЭР-1000

При загрузке соответствующего номера камеры оператору представляется вид установки сборки пучка, а также при открытии специального видеокadra появляется возможность управлять процессом сборки. На рис. 7 показан внешний вид установки, а также на видеокад-

ре – контролируемые параметры установки, такие как: наличие ложемент-свидетеля с каркасом ТВС или без него, номер каркаса ТВС, тип ТВС, наличие твэла и его положение, номер твэла, количество снаряженных твэлов, позиция для заталкивания твэла [7].

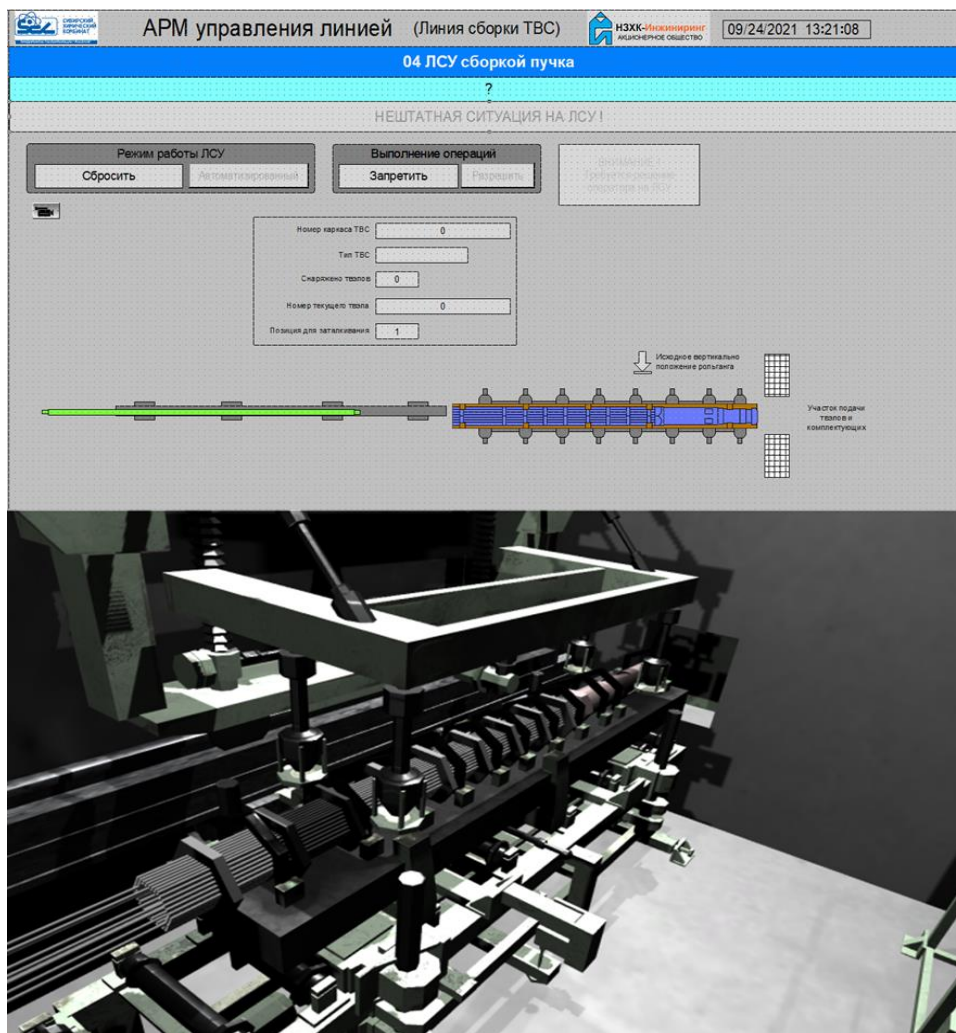


Рис. 7. Установка сборки пучка твэлов

Автооператор. Автооператор предназначен для выполнения таких операций, как: перемещение каркаса ТВС с пучком твэлов на ложементе-свидетеле в горизонтальном положении с установки сборки пучка на кантователь, перемещение дефектного каркаса ТВС с твэлами на ложементе-свидетеле на участок разборки дефектных каркасов ТВС с твэлами, перемещение дефектного каркаса ТВС и отрезанного хвостовика ТВС на ложементе-свидетеле с участка разборки на выходной роляганг шибер (для последующего удаления через шибер на участок подачи твэлов и комплектующих ТВС).

Состав автооператора: тележка ходовая, тележка грузовая, траверса.

Тележка ходовая является основной металлоконструкцией автооператора, на которой размещены все электромеханические приводы и тележка грузовая. Тележка ходовая осуществляет продольное перемещение автооператора и позиционирование его в трех рабочих положениях. Перемещение осуществляется по рельсовому пути. Тележка имеет дублирующий электрический привод, позволяющий закончить продольное перемещение автооператора в случае выхода из строя основного электродвигателя.

Тележка грузовая предназначена для поперечного перемещения траверсы и состоит из рамы и механизма подъема траверсы. Рама предназначена для крепления элементов механизма подъема траверсы. На раме смонтированы приводные колеса для перемещения тележки грузовой по направляющим тележки ходовой. Механизм подъема предназначен для вертикального перемещения траверсы и состоит из домкрата, тормоза, двух электродвигателей (основного и дублирующего) и системы наклонных тяг.

Траверса состоит из рамы несущей и механизма захвата. Она предназначена для фиксации и удержания ложемент-свидетеля в процессе его транспортировки с одной технологической позиции на другую. При этом ложемент-свидетель может быть пустым, в нем может быть закреплен каркас ТВС в сборе с хвостовиком либо каркас ТВС в сборе с хвостовиком, снаряженный твэлами. Грузозахватный орган траверсы надежно фиксирует груз, исключая возможность самопроизвольного высвобождения груза.

При включении камеры автооператора предоставляется возможность увидеть его внешнее

оборудование, а также при загрузке видеокadra возможно контролировать управляющие параметры, такие как: положение автооператора, наличие ложемент-свидетеля с каркасом ТВС или без него, номер каркаса ТВС, наличие ложемент-свидетеля с каркасом ТВС в укрытии временного хранения, номер каркаса ТВС, находящегося в укрытии временного хранения, вертикальное положение автооператора и состояние его захватов, позиция назначения при перемещении автооператора (рис. 8).

Укрытие временного хранения. Укрытие временного хранения предназначено для хранения ТВС с твэлами или собранной ТВС на ложементе-свидетеле. Укрытие технологически взаимодействует с автооператором и ложемент-свидетелем. В корпусе укрытия размещается подъемный стол, который способен принять изделие для последующего хранения в укрытии. На ложементах стола расположены упоры, предназначенные для точного позиционирования изделия на столе [8].

Крышка укрытия открывается двумя домкратами. Подъем крышки продолжается до момента срабатывания индукционного датчика (рис. 9).

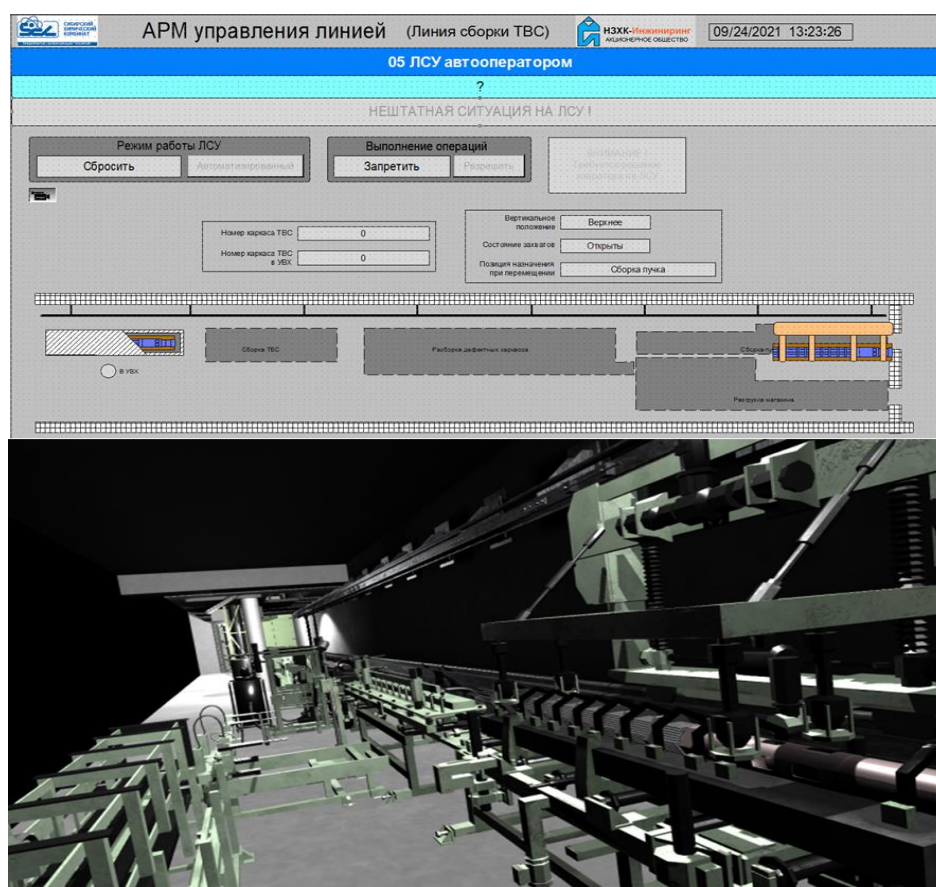


Рис. 8. Автооператор

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПО СБОРКЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ АТОМНОЙ СТАНЦИИ ВВЭР-1000

В крайнем верхнем положении стола укрытие способно принять изделие от автооператора для дальнейшего хранения. Изделие располагается на ложементах стола. О наличии и правильном расположении изделия на столе сигнализируют датчики, расположенные на крайних ложементах стола. После срабатывания датчи-

ков выполняется операция по разжатию захватов автооператора, и изделие, расположенное на столе, опускается в укрытие. В крайнем нижнем положении стола изделие полностью помещается в укрытие. Автооператор из зоны расположения укрытия перемещается на свободную позицию [10].

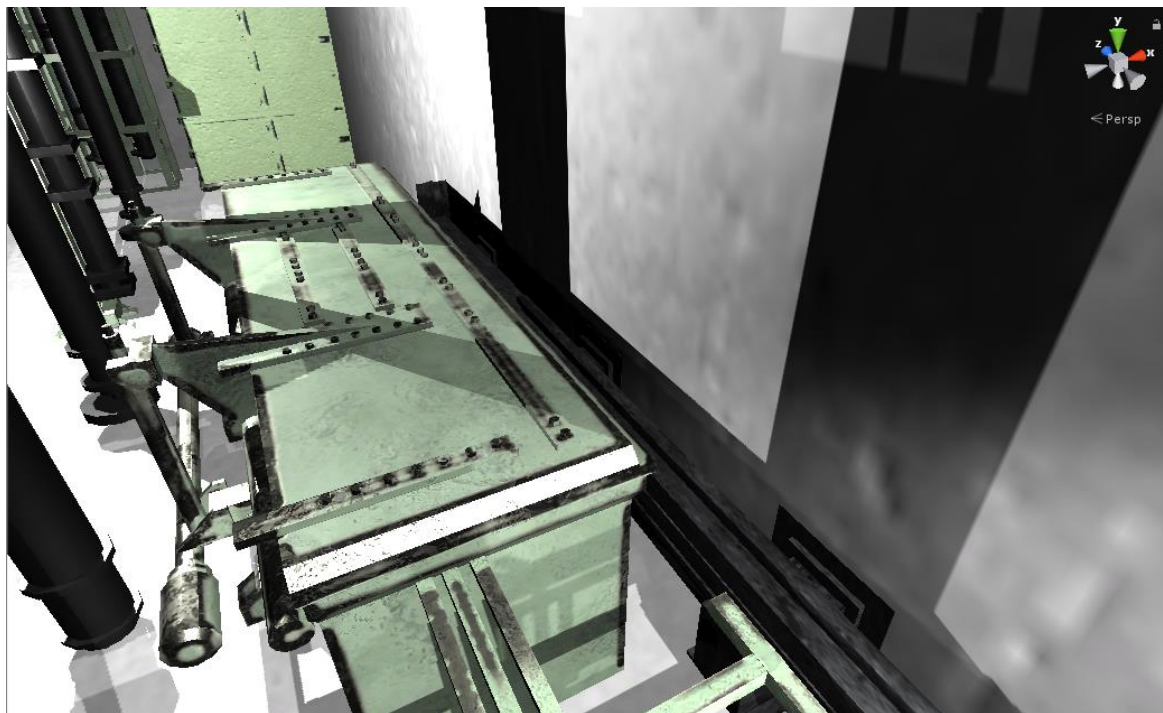


Рис. 9. Укрытие временного хранения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт применения трехмерных моделей в ядерной энергетике показывает актуальность использования данной технологии. Продукты трехмерного моделирования позволяют создавать модель технологического оборудования ядерных энергетических устройств для учета антропометрических характеристик, разработки и расположения новых средств отображения информации и органов управления, проектирования освещенности рабочих мест и зон.

Использование инструментов виртуальной реальности, таких как Unity 3D, позволяет создавать среды для обучения и моделирования обнаружения радиоактивных источников, обеспечивать вычислительные модели, построение моделей с максимальной приближенностью к реальности.

Программный инструментарий в этом исследовании позволил моделировать участок сборки тепловыделяющих элементов. В данной работе были визуализированы определенные установ-

ки сборки компоновки ТВС, такие как: стол подачи комплектующих, рольганг для подачи ВТУК, установка разборки магазина с твэлами, установка позиционирования твэлов по координате, установка сборки пучка твэлов, автооператор, укрытие временного хранения.

Результаты визуализации установки тепловыделяющих элементов позволяют:

- наглядно увидеть расположение основных компонентов сборки;
- наблюдать за процессом и последовательностью операций, выполняемых в процессе сборки;
- контролировать технологические операции сборки с помощью видеокadres управления.

Полученная модель визуализации в данной статье может в будущем использоваться при проведении тренингов в отношении деятельности на ядерных объектах. Эта система позволит просматривать и организовывать стратегии, проводить обучающие семинары и давать возможность обучаться без вреда для здоровья человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонов С.В., Шакирьянова Ю.П., Пинчук П.В. Перспективы развития трехмерного моделирования для решения судебно-медицинских экспертных задач: ВМ-технология и 4D-моделирование // Судебная медицина. 2020. № 6 (157). С. 431–446.
2. Григорьева Е.В. Компьютерное моделирование и проектирование редуктора с использованием системы трехмерного моделирования // Естественные и технические науки. 2021. № 6 (157). С. 431–446.
3. Моделирование в среде трехмерной графики как метод формирования критического мышления обучающихся / Е.А. Мамаева, Н.И. Исаева, Т.В. Машарова, Н.Н. Векуа // Перспективы науки и образования. 2021. № 2 (50). С. 431–446.
4. Laidani Z., Tolokonsky A.O., Abdulraheem K.K., Ouahioune and R Berreksi M. Modelling and simulating of a multiple input and multiple output system to control the liquid level and temperature by using model predictive control // Journal of Physics: Conference Series. 2020. V. 1689. № 1.
5. Zhukov I.M., Tolokonsky A.O. Ultimate design and testing TPTS-based control systems with using full-scaled physical models of nuclear power plants // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. V. 498. № 1. Q4.
6. Колдобский А.Б. 100 вопросов и ответов от атомной энергетики // Топливная компания РОСАТОМ: ТВЭЛ. 2017. С. 140.
7. Руководство пользователя 62881726.42 5279 0.006.ИЗ: АСУТП линии сборки ТВС // АО «НЗХК-инжиниринг». 2019. С. 52.
8. Описание алгоритма 62881726.42 5270 0.006.ПБ АСУТП линии сборки ТВС // АО «НЗХК-инжиниринг». 2019. С. 33.
9. Руководство пользователя (администратора) 62881726.42 5510 4.007.ИЗ СВН линии сборки ТВС // АО «НЗХК-инжиниринг», 2019. С. 33.
10. Рабочая инструкция по эксплуатации участка сборки и контроля ТВС РИ110/08-068-2018 АО «Сибирский химический комбинат». 2019. С. 33.
11. Рабочая инструкция по эксплуатации системы видеонаблюдения линии сборки ТВС РИ 110/12-029-2019 АО «Сибирский химический комбинат». 2018. С. 33.

Vestnik Natsional'nogo issledovatel'skogo yadernogo universiteta «MIFI», 2022, vol. 11, no. 6, pp. 413–424

DEVELOPMENT OF A VIRTUAL SIMULATOR FOR TRAINING PERSONNEL IN ASSEMBLING FUEL ELEMENTS FOR VVER-1000 NUCLEAR PLANT

D.G. Kovalionok¹, A.O. Tolokonskiy^{1,*}

¹National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, 115409 Russia

*e-mail: toloconne@yandex.ru

Received January 9, 2023; revised January 12, 2023; accepted January 24, 2023

With the development of computer technology, it became possible to simulate and develop training systems for various complex and dangerous control objects that widely use computer graphics. Initially, computer graphics were used mainly for projects in the gaming entertainment industry, such as movies and games applications, and, in parallel, the first computer models of control objects appeared. The development of computer graphics technologies makes it possible to create three-dimensional models for technical systems of nuclear power. Modeling in three-dimensional space makes it possible to create fundamentally new computer simulators for training NPP operating personnel. This article is devoted to the development of software for the rapid installation of the layout of fuel assemblies. Information about the architecture of the training system, its composition and description, as well as the visual part are given. Mnemonic control schemes for the assembly line of fuel rod installations have been developed. The developed simulator provides visual information in the FA assembly area. Installations were visualized such as a table for supplying components, a roller table for supplying VTUK, an installation for dismantling a magazine with fuel rods, an installation for positioning fuel rods along a coordinate, an installation for assembling a fuel bundle, an autooperator, and a temporary storage shelter. The resulting visualization model in this article can be used in the future to create teaching and training systems at nuclear facilities.

Keywords: training simulators, 3D modeling, graphic objects, fuel assembly, visual presentation.

REFERENCES

1. Leonov S.V., Shakiryanova Yu.P., Pinchuk P.V. Prospects for the development of three-dimensional modeling for solving forensic expert tasks: BIM technology and 4D modeling. Forensic medicine. 2020. No. 6 (157). P. 3–134 (in Russian).
2. Grigoryeva E.V. Computer modeling and design of a gearbox using a three-dimensional modeling system. Natural and technical sciences. 2021. No. 6 (157). P. 31–146 (in Russian).
3. Mamaeva E.A., Isupova N.I., Masharova T.V., Vekua N.N. Modeling in the environment of three-dimensional graphics as a method of forming critical thinking of students. Prospects of science and education. 2021. No. 2 (50). P. 131–446 (in Russian).
4. Laidani Z., Tolokonsky A.O., Abdulraheem K.K. Ouahioune and R Berreksi M. Modelling and simulating of a multiple input and multiple output system to control the liquid level and temperature by using model predictive control. Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1689. No. 1.
5. Zhukov I.M., Tolokonsky A.O. Ultimate design and testing TPTS-based control systems with using full-scaled physical models of nuclear power plants. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 498. No. 1. Q4.
6. Koldobsky A.B. 100 questions and answers from the nuclear industry. Fuel company ROSATOM: TVEL. 2017. P. 140 (in Russian).
7. User manual 62881726.42 5279 0.006.I3: APCS of the fuel assembly assembly line. JSC NZKH-engineering. 2019. P. 52 (in Russian).
8. Description of the algorithm 62881726.42 5270 0.006. PB APCS of the FA assembly line. JSC «NCCP-engineering». 2019. P. 33 (in Russian).
9. User's (administrator's) manual 62881726.42 5510 4.007.I3 SVN of the FA assembly line. JSC «NCCP-engineering». 2019. P. 33 (in Russian).
10. Working instructions for the operation of the site for assembly and control of fuel assemblies RI110 / 08-068-2018 JSC «Siberian Chemical Plant». 2019. P. 33 (in Russian).
11. Working instructions for the operation of the video surveillance system of the TVS assembly line RI 110/12-029-2019 JSC «Siberian Chemical Plant». 2018. P. 33 (in Russian).