

Метод динамической виртуальной визуализации физических полей и оптимизация параметров радиационной обстановки путем интерактивного оперирования в виртуальной реальности

М.А. Уткин, О.В. Бойко, М.Г. Жабицкий

Аннотация - Визуализация физических процессов, поддержка безопасности ядерных объектов, обучение персонала, снижение мощности дозы облучения являются приоритетными и существенными целями в ядерной сфере. Применение виртуальной реальности может улучшить анализ в области прогноза полученной дозовой нагрузки при работе в зоне радиационных загрязнений. Качество и реализм виртуальной среды, а главное, её безопасность влияют на иммерсивность и восприимчивость в области обучения, тренировок, и этими эффектами нельзя пренебрегать. Дальнейшие исследования должны быть проведены в двух направлениях: использование разработанного метода в качестве обучающего тренажера с возможностью количественной и качественной оценки действий обучаемого, а также возможности полноценного использования VR-технологии для визуализации пространственного распределения мощности излучения. Актуальность данной работы подтверждается растущим интересом со стороны индустрии, научных и технологических сообществ к внедрению VR-технологии в производственные процессы с целью сокращения затрат на обучение персонала или моделирование процессов. Для динамической визуализации физических полей в качестве среды виртуальной реальности впервые используется российское программное обеспечение VR Concept, позволяющее создавать и изменять объекты и их характеристики без дополнительного программирования или прорисовки объектов, что снижает временные затраты на изменение условий виртуального эксперимента до минимума.

Ключевые слова – визуализация, радиационная защита, виртуальная реальность, интерактивность

Статья получена 29 июня 2022.

Уткин Максим Андреевич, НИЯУ МИФИ, магистрант, dj-exok@mail.ru

Бойко Ольга Владимировна, НИЯУ МИФИ, начальник отдела Высшей инженеринговой школы, ovboyko@merphi.ru

Жабицкий Михаил Георгиевич, НИЯУ МИФИ, заместитель директора Высшей инженеринговой школы, jabitsky@mail.ru

1. ВВЕДЕНИЕ

Методы, описывающие физическое поле в виде распределения радиационной нагрузки посредством визуально непроницаемого туманного облака, не позволяют провести корректную качественную оценку мощности дозы в точках, удаленных вглубь от поверхности облака. Также не реализована визуализация непрерывной обратной связи динамического изменения радиационной нагрузки в зависимости от изменения положения защитных экранов. Существующие исследования применяемых методов визуализации физических полей рассматриваются с точки зрения описания радиационных излучений, но не предполагают демонстрацию динамики и интерактивность изменения дозовой излучаемой мощности. Интерактивное моделирование радиационной защиты в безопасной виртуальной среде позволило бы предложить более эффективный метод прогнозирования дозовой нагрузки при работе специалиста с источниками ионизирующего излучения. В работе будет рассмотрен упрощенный расчёт дозовой нагрузки от точечного источника без учета рефракции и отражения лучей. Использование виртуальной реальности и созданных в ходе данной работы программных модулей позволяет проводить расчёт мощности доз в реальном времени с возможностью оптимизации параметров радиационной обстановки путем интерактивного оперирования защитными экранами в виртуальной реальности.

II. ОБЗОР ПРИМЕНЯЕМЫХ МЕТОДОВ

В одном из методов визуализации физических полей [1] визуализация потока нейтронов и распределение гамма-излучения в рабочем помещении выполнялись с помощью систем частиц и объемного тумана на основе расчетных и экспериментальных данных с помощью UE4 Volumetric Fog на базе платформы Unreal Engine

Также с использованием виртуальной реальности [2] визуализировались радиоактивные вещества в виде неподвижных изображений экспериментальной среды

между двумя источниками в виде данных облака точек, которые включены как координаты положения с информацией о цвете каждой точки, построенных с помощью метода трехмерной структурной модели окружающей среды с использованием различных фотографий SfM на базе платформы Unity.

Визуализация уровня излучения, сформированная на двухмерных картах, была приведена в статье [3], где мощности доз от бочек с ядерными отходами после сквозных интерактивных измерений посредством виртуального дозиметра в виртуальной среде были представлены в виде цветовой индикации интенсивности излучения на базе платформы Unity.

Представлена динамическая имитация сценария утечки излучения для поддержки радиационной защиты [4]. Посредством синтеза данных об утечке с помощью численного моделирования, измерения визуализировались в трехмерное поле дозы ядерного излучения в режиме реального времени с помощью CUDA.

Трёхмерная пространственная визуализация физических полей не до конца изучена и не имеет точного описания эффективности применения. В приведённых исследованиях описание физических полей от источников ионизирующих излучений представляли собой статическое распределение. Так как логика работы с источником предполагает динамику изменения полей, изменения дозовой излучаемой мощности, а также вмешательство человека посредством использования и модификации компонент радиационной защиты, то статического описания недостаточно. Ведущие технологии, такие как VR позволяют реализовать динамическую визуализацию с иммерсивностью и интерактивностью её применения.

III. СПОСОБ ПОТОЧНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

В работе представлен способ визуализации физического поля с помощью сфер-индикаторов, расположенных в узлах трёхмерной сетки (Рис.1). Габариты и шаг сетки задаются, как параметры при её моделировании. Сферы-индикаторы могут иметь различные параметры – такие как прозрачность, размеры, количество, а также критерии применения различных способов отображения в виртуальной реальности для возможности гибкой визуализации при интерактивном взаимодействии оператора со средой в VR.

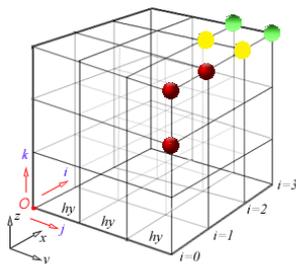


Рис.1 - Трёхмерная пространственная сетка с узлами.

В каждой точке сетки рассчитывается нагрузка от источника воздействия, расположенного в пределах сетки или вне её. После расчёта дозовой нагрузки в каждом узле производится цветовая окраска индикатора. Диапазоны значений цветовой индексации задаются опционально в зависимости от сложности описываемого поля и параметров проведения эксперимента. В простейшем случае может использоваться интуитивно понятная ступенчатая «светофорная» окраска (красный-желтый-зеленый). Также может применяться способ непрерывного плавного изменения (градации яркости). Изменяя параметры модели визуализации, а именно количество сфер-индикаторов, их габариты, шаг сетки, яркость, прозрачность и окраску индикаторов, можно добиться лучшей иммерсивности при проведении различных расчетно-интерактивных экспериментов в виртуальной реальности, а также повысить эффективность восприятия визуализации в зависимости от особенностей визуализируемой радиационной обстановки.

IV. ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

В виртуальной реальности можно моделировать различные процессы с помощью изменения параметров (размер, материал, пространственная ориентация, перемещение в пространстве) объектов, находящихся в сцене, но предварительно все необходимые элементы должны присутствовать в сцене. В данной работе рассмотрен пример динамической виртуальной визуализации физических полей и оптимизации параметров радиационной обстановки путем интерактивного оперирования в виртуальной реальности. Схема для реализации динамического моделирования физических процессов состоит из трех основных частей (Рис.2):



Рис.2 - Схема взаимодействия логических блоков системы интерактивного моделирования

-модуль подготовки параметров опыта для моделирования сцены, а именно формирование всех необходимых элементов и их величин, а также свойств физического поля и параметров радиационной защиты;
 -расчётный модуль, где производится вычисление параметров поля и расчёт ослабления при использовании радиационной защиты;
 -модуль среды виртуальной реальности для визуализации физического поля и интерактивного моделирования радиационной защиты.

Среда виртуальной реальности и расчётный модуль непрерывно обмениваются данными, описывающими все соответствующие параметры в ходе опыта. Расчётный модуль двунаправленно взаимодействует с виртуальной средой. Из модуля виртуальной реальности идет поток информации о пространственном расположении и ориентации источников и блоков радиационной защиты. Обрато поступает информация о мгновенных значениях полей в точках расположения индикаторов для создания динамической визуализации физических полей (радиационной обстановки) при перемещении источников излучения или блоков защиты. Такое перемещение может происходить как по заданным траекториям, так и «вручную», путем перемещения объектов оператором в виртуальной реальности. Данный подход позволит масштабировать задачу динамической визуализации при моделировании радиационной защиты для более сложных полей, так как расчётный модуль можно адаптировать для моделирования различных типов источников, блоков радиационной защиты, их положения и перемещения в пространстве. Результатом становится визуализация изменения физических полей в трёхмерном пространстве при действиях оператора или механизмов.

V. АРХИТЕКТУРА ПРОТОТИПА ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕРАКТИВНОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Среда виртуальной реальности в архитектуре (Рис.3) прототипа представлена в виде инструмента для виртуального прототипирования VR Concept [5]. Для взаимодействия внешних моделей с VR Concept используется пользовательский плагин SimulationManager. Взаимодействие внешних модулей и VR Concept осуществляется с помощью этого плагина из блока vrcSimulationPlugins. В данной работе используется версия VR Concept-0.21-MShaposhnikov-simulation-rotation.1-288-ru-win64. Стоит отметить, что в процессе разработки плагина функционал величин симуляций изменяется и дорабатывается, что должно учитываться при реализации разработанных программных модулей.

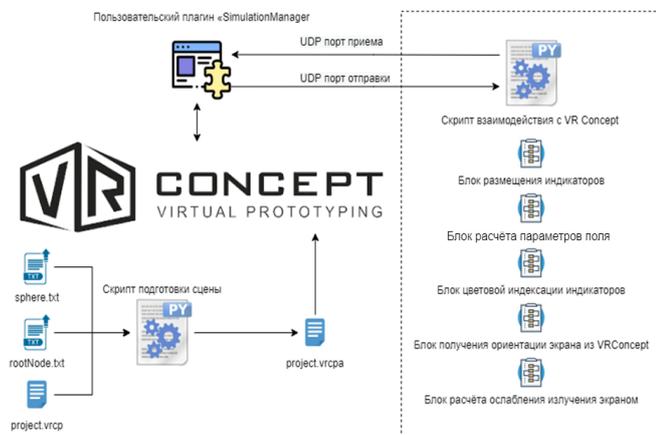


Рис.3 - Архитектура взаимодействия компонентов системы

Плагин работает с протоколом пользовательских датаграмм UDP, и он используется для

двунаправленного взаимодействия совокупно с внешними модулями, которые представлены в виде скриптов на языке программирования Python. Внешний модуль для подготовки сцены является скриптом, который генерирует необходимое количество сфер-индикаторов с соответствующими величинами для симуляции. Скрипт для взаимодействия с VR Concept содержит в себе реализацию таких блоков как:

- Блок размещения индикаторов;
- Блок расчёта параметров поля;
- Блок получения ориентации объектов из VR Concept;
- Блок расчёта ослабления излучения экраном;
- Блок цветовой индексации индикаторов.

Двунаправленное взаимодействие внешнего расчётного модуля и VR Concept синхронизируется с передаваемыми величинами для симуляции, так как сформированные пакеты должны полностью описывать состояние в любой момент времени. Разработка внешних модулей для синхронизации пользовательского плагина SimulationManager с VR Concept велась в режиме непрерывного взаимодействия с разработчиками программного обеспечения, что позволяло оперативно добавлять необходимый функционал для реализации поставленной цели. Внешние программные модули представлены как скрипты на языке программирования Python. Для двухстороннего взаимодействия по протоколу UDP была использована библиотека Socket. Сам по себе Socket представляет собой программный интерфейс для обмена пакетами, датаграммами и информацией между процессами. Интерфейс является трансляцией системного вызова внешних компонентов и интерфейса для сокетов в парадигме объектно-ориентированного программирования (ООП) на языке Python. С помощью пакетов датаграмм производится обмен данными VR Concept с внешними модулями. Для корректной отправки данных формировался массив, который по индексу заполнялся параметрами для симуляции. Такая концепция предполагает передачу параметров всех величин симуляции, то есть состояние сцены VR Concept в совокупности с данными, полученными от внешних модулей. Для того, чтобы SimulationManager корректно обрабатывал датаграммы, необходимо интерпретировать байты как упакованные двоичные данные, то есть обрабатывать двоичные данные, хранящиеся в файлах или полученные из сетевых подключений среди других источников, в строки формата в качестве компактного описания макета структур. Данный процесс является одним из важных этапов взаимодействия.

VI. РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОТОТИПА НА ПРИМЕРЕ ТРАНСФОРМИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

В виртуальной среде VR Concept была подготовлена сцена с предварительно сгенерированными сферами-индикаторами, размещенными в узлах моделируемой сетки. Защитное экранирование реализовано с помощью импортированных прямоугольных щитов с последующей настройкой величин симуляций. Точечный

источник размещён в виде сферы синего цвета с большим диаметром. На рисунке представлена демонстрация опыта до применения моделирования защиты и после интерактивного оперирования радиационными щитами в виртуальной среде (Рис.4).

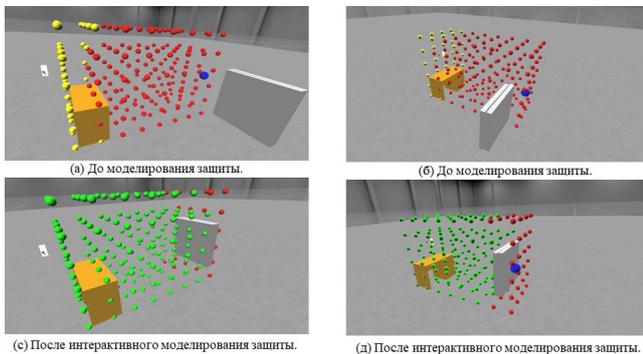


Рис.4 - Демонстрация визуализации физического поля до использования защиты (а, б) и после (в, г) установки радиационных щитов.

VII. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ ТЕХНОЛОГИИ.

Цель работы заключалась в демонстрации возможности оптимизации параметров радиационной обстановки путем интерактивного оперирования в среде виртуальной реальности. Потенциальный пользователь, настраивая параметры моделируемой защиты, например, изменяя положение радиационных щитов, материал и/или толщину экранов, может спрогнозировать корректную и безопасную обстановку. Изменяя параметры модели визуализации физического поля, габариты, шаг сетки, размеры и свойства сфер, можно адаптировать иммерсивность восприятия в виртуальной среде для пользователя.

Реализация модели визуализации физического поля с возможностью интерактивно моделировать радиационную защиту позволит обучать в виртуальной среде персонал и будущих специалистов без риска получения опасной дозовой нагрузки. Метод предполагает возможность развития анализа в области прогноза полученной дозовой нагрузки при работе в зоне радиационной обстановки.

Интуитивно понятное, предварительное визуальное представление радиационной окружающей среды может быть использовано в дальнейшем в рабочих условиях с реальными источниками излучения. Визуализация радиационного фона сама по себе является важной задачей. Помимо прогнозирования мощности доз, механики накопления, можно создавать радиационную защиту и выделять зоны в рабочих помещениях с соответствующими мощностями облучения, не превышающими определенный порог.

VIII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для будущих работ необходимо рассмотреть визуализацию более сложных физических полей с данными, полученными в ходе работ с реальными источниками излучения, а также рассмотреть задачу не только с точки зрения VR, но и AR/MR (дополненной и

смешанной реальностей). Необходимо рассмотреть подходы к моделированию плотности доз ядерного излучения с возможностью прогнозировать дозовые значения нагрузки при работе специалистов при различных условиях радиационной обстановки.

Одно из направлений развития тематики - это добавление интерактивности работы с радиационными загрязнениями. Понимание распространения и воздействия излучения в реальной среде важно для снижения уровня стресса у сотрудника и для повышения безопасности работы. Благодаря вычислительным мощностям и возможностям моделирования, многие сложные и опасные задачи можно решать более эффективно. Технологии виртуальной реальности могут обеспечить для задач ядерной безопасности более практичный подход, где благодаря визуализации, более того – динамической визуализации, персонал может наблюдать за дозой облучения и распределением дозы. Это позволит создавать при выводе из эксплуатации объектов корректные маршруты технического обслуживания персонала, а также планировать более точные стратегии, основанные на визуальном анализе распределения дозы в трехмерном пространстве вокруг радиационно-загрязненного оборудования, тем самым уменьшая радиационный ущерб, который мог бы быть нанесен персоналу.

БЛАГОДАРНОСТИ

Благодарность генеральному директору ООО «ВР Концент» Захаркину Денису Владимировичу за предоставленное лицензионное программное обеспечение и тесное взаимодействие в процессе разработки реализованного прототипа аппаратно-программного комплекса.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] P.K.Kiryukhina, V.I.Romanenko, D.A.Khomyakova [и др]. Virtual analog of uranium-water subcritical assembly // Annals of Nuclear Energy Volume 172, July 2022, 109058
- [2] Y. Sato, K. Minemoto, M. Nemoto, T. Torii Construction of virtual reality system for radiation working environment reproduced by gamma-ray imagers combined with SLAM technologies Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A, 976 (June) (2020), Article 164286
- [3] Katsumi Hagita Yuuki Kodama Masashi Takada. Simplified virtual reality training system for radiation shielding and measurement in nuclear engineering // Progress in Nuclear Energy Volume 118, January 2020, 103127
- [4] Yi Zhang, Qiyi Chen, Hao Wang [и др.] The visualization of 3D nuclear radiation dose field // Progress in Nuclear Energy Volume 139, September 2021, 103896
- [5] TAdviser - портал выбора технологий и поставщиков [Электронный ресурс] // VR Concept Инструмент виртуального прототипирования: сайт. — URL: <http://east-front.narod.ru/memo/latchford.htm>

The dynamic virtual visualization method for physical fields and radiation environment optimization by virtual reality interactive operation

M.A. Utkin, O.V. Boyko, M.G. Zhabitskii

Abstract-The visualization of physical processes, support of nuclear facility safety, personnel training, and reduction of radiation dose rate are priority and essential goals in the nuclear field. The application of virtual reality can improve the analysis in the field of the prediction of the received dose load when working in the radiation contamination zone. The quality and realism of the virtual environment, and most importantly, its safety affect immersiveness and susceptibility in the field of education, training, and these effects cannot be neglected. Further research should be conducted in two directions: the use of the developed method as a training simulator with the possibility of quantitative and qualitative assessment of the trainee's actions, as well as the possibility of full use of VR-technology for visualization of the spatial distribution of radiation power. The relevance of this work is confirmed by the growing interest from the industry, scientific and technological communities to the implementation of VR-technology in production processes in order to reduce the cost of training personnel or simulation processes. For the dynamic visualization of the physical fields as a virtual reality environment for the first time, the Russian software VR Concept, which allows to create and modify objects and their characteristics without additional programming or drawing of objects, which reduces the time costs of changing the conditions of the virtual experiment to a minimum.

Keywords - *visualization, radiation protection, virtual reality, interactivity*

REFERENCES

- [1] P.K.Kiryukhina, V.I.Romanenko, D.A.Khomyakova [и др]. Virtual analog of uranium-water subcritical assembly // Annals of Nuclear Energy Volume 172, July 2022, 109058
- [2] Y. Sato, K. Minemoto, M. Nemoto, T. Torii Construction of virtual reality system for radiation working environment reproduced by gamma-ray imagers combined with SLAM technologies Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A, 976 (June) (2020), Article 164286
- [3] Katsumi Hagita Yuuki Kodama Masashi Takada. Simplified virtual reality training system for radiation shielding and measurement in nuclear engineering // Progress in Nuclear Energy Volume 118, January 2020, 103127
- [4] Yi Zhang, Qiyi Chen, Hao Wang [и др.] The visualization of 3D nuclear radiation dose field // Progress in Nuclear Energy Volume 139, September 2021, 103896
- [5] TAdviser - technology and supplier selection portal [Electronic resource] // VR Concept Virtual prototyping tool: site. - URL: <http://east-front.narod.ru/memo/latchford.htm>