

МРНТИ 14.35.07

<https://doi.org/10.62724/202620308>

Нуралиев Фахриддин Муродиллаевич^{*1}

Доктор технических наук, профессор, Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада Ал-Хоразми, Ташкент, Узбекистан,
nuraliev2001@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0574-9278

СИСТЕМА НАЦИОНАЛЬНОГО ВИРТУАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА НА ОСНОВЕ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ В МЕТАПРОСТРАНСТВЕ

Аннотация. В статье рассматривается система создания национального виртуального университета на основе 3D-технологий в метакосмосе. Описаны методы разработки трёхмерных моделей объектов экстерьера и интерьера, алгоритмы визуализации с применением R-функции (RFM), функциональная IDEF1x-модель базы графических данных, а также архитектура программного средства *vacademia.uz*. Практическая апробация подтвердила повышение скорости трёхмерного отображения объектов в 4 раза и рост производительности на 10–13%.

В настоящей статье представлена система национального виртуального университета на основе 3D-технологий в метакосмосе, реализованная в виде программного средства *vacademia.uz*. Разработаны функциональная IDEF1x-модель базы графических данных, алгоритмы визуализации с применением метода R-функции (RFM), конвертер 3D-моделей в формат BMF и клиент-серверная архитектура на платформе *vAcademia*.

Результаты настоящего исследования открывают ряд перспективных направлений для дальнейшей работы, часть из которых непосредственно связана с интеграцией систем мониторинга вовлечённости студентов в виртуальную образовательную среду.

Ключевые слова. Виртуальный университет, 3D-технологии, метакосмос, *vAcademia*, BMF-формат, IDEF1x-модель, реляционная алгебра, R-функция, дистанционное обучение, визуализация.

Нуралиев Фахриддин Муродиллаулы^{*1}

Техника ғылымдарының докторы, профессор, Мұхаммед әл – Хоразми атындағы Ташкент ақпараттық технологиялар университеті, Ташкент, Өзбекстан,
nuraliev2001@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0574-9278

МЕТАКЕҢІСТІКТЕГІ 3D ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА НЕГІЗДЕЛГЕН ҰЛТТЫҚ ВИРТУАЛДЫ УНИВЕРСИТЕТ ЖҮЙЕСІ

Аңдатпа. Бұл мақалада метакеңістікте 3D технологияларына негізделген ұлттық виртуалды университет құру жүйесі қарастырылады. Ол сыртқы және ішкі нысандардың 3D модельдерін әзірлеу әдістерін, R-функцияларын (RFM) пайдалана отырып визуализация алгоритмдерін, графикалық деректер қорының функционалды IDEF1x моделін және *vacademia.uz* бағдарламалық құралының архитектурасын сипаттайды. Тәжірибелік тестілеу 3D нысанды көрсету жылдамдығының төрт есе артқанын және өнімділіктің 10-13%-ға артқанын растады.

Бұл мақалада *vacademia.uz* бағдарламалық құралы ретінде жүзеге асырылған метаспейістіктегі 3D технологияларға негізделген ұлттық виртуалды университет жүйесі

ұсынылған. Графикалық дерекқордың функционалды IDEF1x моделі, R-функция әдісін (RFM) қолданатын визуализация алгоритмдері, BMF форматына 3D модель түрлендіргіші және vAcademia платформасындағы клиент-сервер архитектурасы әзірленді.

Бұл зерттеудің нәтижелері әрі қарай зерттеулер үшін бірқатар перспективалы бағыттарды ашады, олардың кейбіреулері студенттердің қатысуын бақылау жүйелерін виртуалды білім беру ортасына біріктірумен тікелей байланысты.

Кілт сөздер. Виртуалды университет, 3D технологиялар, метакөңістік, vAcademia, BMF форматы, IDEF1x моделі, реляциялық алгебра, R функциясы, қашықтықтан оқыту, визуализация.

Nuraliev Fakhriddin Murodillaevich*1

Doctor of Technical Sciences, Professor, Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad Al-Khorazmi, Tashkent, Uzbekistan, nuraliev2001@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0574-9278

NATIONAL VIRTUAL UNIVERSITY SYSTEM BASED ON 3D TECHNOLOGIES IN METASPACE

Abstract. This article examines a system for creating a national virtual university based on 3D technologies in metaspacе. It describes methods for developing 3D models of exterior and interior objects, visualization algorithms using R-functions (RFM), a functional IDEF1x model of a graphical database, and the architecture of the vacademia.uz software tool. Practical testing confirmed a fourfold increase in the speed of 3D object display and a 10–13% increase in productivity.

This article presents a national virtual university system based on 3D technologies in metaspacе, implemented as the vacademia.uz software tool. A functional IDEF1x model of the graphical database, visualization algorithms using the R-function method (RFM), a 3D model converter to the BMF format, and a client-server architecture on the vAcademia platform have been developed.

The results of this study open up a number of promising areas for further research, some of which are directly related to the integration of student engagement monitoring systems into the virtual educational environment.

Key words. Virtual university, 3D technologies, metaspacе, vAcademia, BMF format, IDEF1x model, relational algebra, R function, distance learning, visualization.

Введение. Интеграция технологий виртуальной реальности (VR) в образование является одним из приоритетных направлений мировой научно-технической повестки. Норвегия, США, Германия, Япония, Южная Корея, Россия и Китай активно ведут разработку платформ трёхмерного виртуального университета, программных средств визуализации и 3D-моделей виртуальных объектов. Ежегодно в высших учебных заведениях, внедривших подобные среды, суммарное число виртуальных участников исчисляется миллионами: дистанционный формат обеспечивает доступность обучения, гибкость расписания и возможность освоения материала посредством виртуальных тренажёров и симуляций.

Развитие данного направления в Республике Узбекистан закреплено Указом Президента «Об утверждении Стратегии «Цифровой Узбекистан–2030»» и Стратегией

развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы. Документами предусмотрены изучение и практическое применение технологий VR, дополненной реальности и искусственного интеллекта в отраслях экономики, создание платформ для онлайн-курсов и развитие научных исследований в сфере цифровых технологий.

Несмотря на мировой прогресс, ряд задач остаётся недостаточно изученным: организация учебного процесса в пользовательской виртуальной среде, онлайн-синхронизация пользователей, разработка методов построения реляционных алгебраических выражений в базах данных, создание 3D-моделей национальных объектов с учётом требований оптимизации для среды VR. Настоящее исследование направлено на восполнение указанных пробелов путём создания программного средства *vacademia.uz* — национальной виртуальной образовательной среды на базе платформы *vAcademia*.

Степень изученности проблемы подтверждается работами зарубежных учёных: С. Хале, Р. Зиятдинова, М. Фоминых, М. ЛаВалле, Ф. Рамоса, Ж. Сеокхее, М. Морозова, А. Герасимова и других, а также отечественных специалистов: Т.Ф. Бекмуратова, А.Х. Нишанова, Б.Б. Муминова, Н.О. Рахимова, Ф.М. Нуралиева и др.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является разработка программного средства создания 3D-моделей, алгоритмов их визуализации и иллюстрации для объектов экстерьера и интерьера при организации виртуального университета.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- разработка функциональной IDEF-модели и алгоритма проектирования 3D-моделей в виртуальной университетской среде;
- приведение материалов, текстур, полигонов и форматов файлов в соответствие со средой виртуального университета;
- разработка дополнительного программного модуля экспорта трёхмерных объектов для среды VR;
- проектирование 2D/3D-моделей и базы графических данных объектов виртуальных сред;
- проектирование функциональной структуры программного обеспечения виртуальной образовательной среды на основе 3D-моделей национальных объектов.

Материалы и методы исследований.

Разработка технологии 3D-моделирования

В исследовании применялись два основных подхода к созданию 3D-моделей: полигональное моделирование и сплайн-моделирование. Последнее позволяет значительно сократить время вывода трёхмерного объекта на экран и экономит объём оперативной памяти. Технология разработки 3D-моделей для среды VR реализуется в несколько последовательных этапов.

Методы реляционной алгебры для базы данных виртуальной среды.

При организации виртуальной среды применялись традиционные операции реляционной алгебры: объединение (\cup), пересечение (\cap), вычитание ($-$) и декартово произведение. Помимо этого, разработан алгоритм построения последовательных реляционных операций выбора (*selection* σ) и проектирования (*projection* Π).

Проектирование (вертикальное подмножество) определяется следующим образом: для множества атрибутов T и кортежей отношения $R[T]$, проектирование R по T удаляет ненужные компоненты и упорядочивает оставшиеся. Операция реализована через SQL-запрос `SELECT DISTINCT`, что позволяет исключить дублирующие кортежи при формировании структуры объектов виртуальной среды.



Рисунок 1 – Структура технологии разработки 3D-моделей объектов для виртуальных сред (этапы: концептуальное моделирование → полигональное/сплайн-моделирование → текстурирование → оптимизация → экспорт в BMF)

Визуализация 3D-объектов методом R-функции (RFM).

Для визуализации сложных трёхмерных объектов применялся метод R-функции В.Л. Рвачёва. Объединённая общая формула для сложного трёхмерного объекта записывается в виде булевой комбинации конструктивных примитивов — прямоугольного параллелепипеда, цилиндра и эллипса/сферы.

Результаты и их обсуждение. На основе анализа неупрощённого состояния объекта разработано упрощённое уравнение визуализации $\omega_{RU} = \omega_{Ra} \vee_0 \omega_{Rh1} \vee_0 \omega_{Rh2} \vee_0 \omega_{Rm1} \vee_0 \omega_{Rm2}$, позволяющее сохранять координаты построения в отдельном файле. Это значительно повышает эффективность отображения по сравнению с беспараметрическим проектированием.

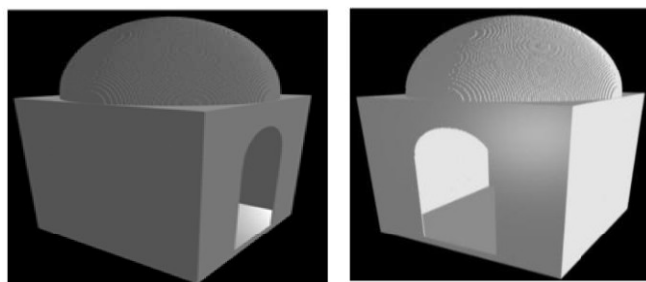


Рисунок 2 – Построение сложного трёхмерного объекта на основе R-функции Рисунок 3 – (RFM): неупрощённое и упрощённое состояние

3D-объекты, построенные с помощью RFM, ориентированы на конфигурации с процессором Core i3 и выше. При проектировании моделей в результате координатного подхода время вывода трёхмерного объекта сокращается, а объём памяти для хранения модели уменьшается [11,12].

Архитектура системы построена по клиент-серверной модели и включает следующие компоненты: клиентскую программу vAcademia, набор серверов

(аутентификация, администрирование ресурсов, синхронизация, VoIP и служебный сервер), систему управления доступом (ACL), хранилище контента виртуального мира и хранилище 3D-записей Virtkas.

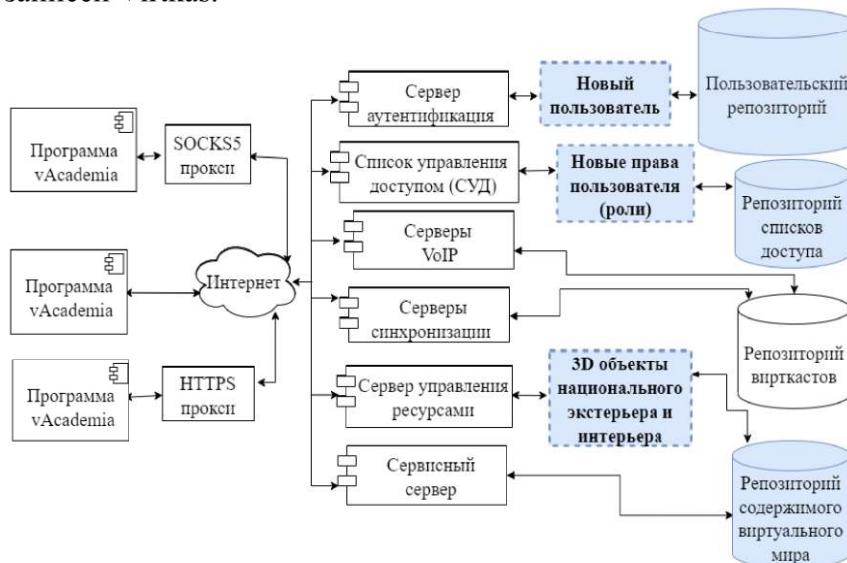


Рисунок 4 – Общая архитектура программного средства vAcademia (клиент ↔ серверы аутентификации, синхронизации, VoIP ↔ хранилища контента)

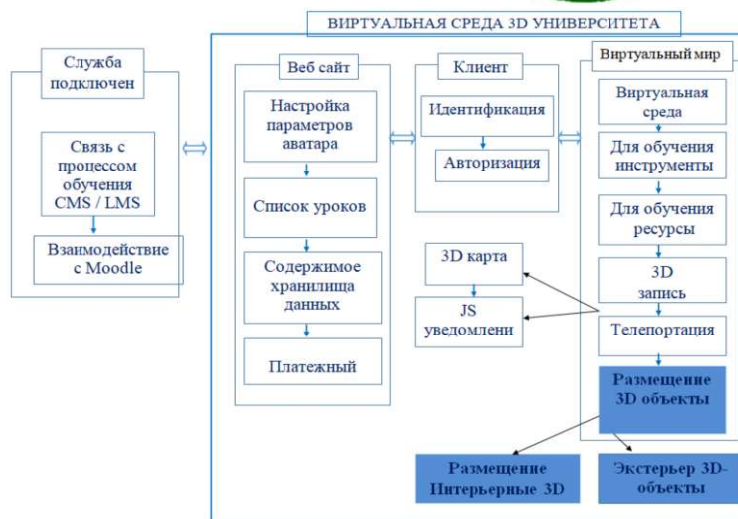
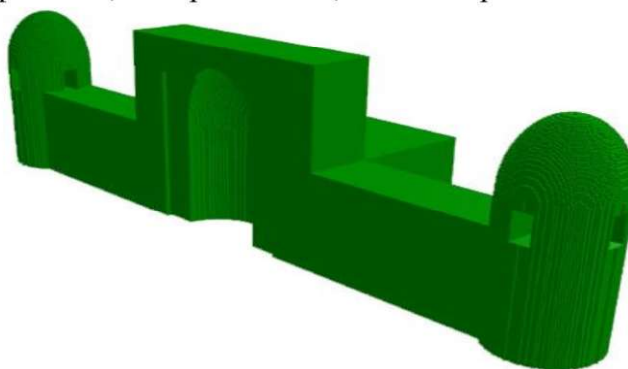


Рисунок 5 – Функциональная структура национального виртуального 3D-университета vacademia.uz (модули: пользователи, курсы, 3D-контент, БД, экспорт)

Конвертер 3D-моделей и формат BMF.

Для интеграции 3D-моделей в виртуальную среду разработан дополнительный программный инструмент — конвертер, функционирующий на основе библиотеки Assimp. Конвертер переводит модель в формат BMF (Basic Model Format) — оптимизированный формат для быстрой загрузки в среде VR/AR, а также конвертирует текстуры в форматы PNG и JPEG с ограничением разрешения 1024×1024 px.

Таблица 1 – Результаты внедрения системы vacademia.uz

Место внедрения	Достигнутый результат
Агентство информации и массовых коммуникаций (II Ташкентская международная книжная выставка-ярмарка 2020)	Повышение оптимальности виртуальных выставок, рост интереса пользователей
ООО «УЧДАВР» (создание виртуальных сред для образования)	Скорость 3D-отображения объекта увеличена в 4 раза; производительность повышена на 10–13%
ООО «Виртуальные пространства» (Российская Федерация), система vAcademia	Запуск для каждого изображения в 20 системах; дифференциация показателей ПП/ЦП — не более 2 раз

Разработанная система vacademia.uz обладает рядом принципиальных отличий от существующих решений. Во-первых, проектирование велось с ориентацией на национальный архитектурный и ландшафтный дизайн Узбекистана, что делает виртуальную среду культурно релевантной для отечественных пользователей. Во-вторых, применение упрощённого метода R-функции (RFM) и координатного подхода к хранению параметров модели позволяет снизить нагрузку на оперативную память по сравнению с беспараметрным проектированием.

Вместе с тем необходимо отметить ряд ограничений. Производительность системы зависит от аппаратной конфигурации клиентского устройства: устаревшие процессоры (ниже Core i3) не обеспечивают приемлемой частоты кадров. Точность визуализации сложных 3D-объектов с большим числом полигонов (>50 000) требует дополнительной оптимизации LOD (Level of Detail). Наконец, онлайн-синхронизация множества пользователей в виртуальной среде остаётся задачей, требующей дальнейшей работы при высокой нагрузке.

Сравнение с аналогами (Second Life, vAcademia, Virbela) показывает конкурентное преимущество разработанного решения по скорости загрузки 3D-объектов в условиях ограниченной пропускной способности сети, характерной для регионов Центральной Азии. Использование формата BMF вместо стандартных FBX/OBJ сокращает объём передаваемых данных за счёт предварительной оптимизации на этапе конвертации.

Направления будущих исследований. Результаты настоящего исследования открывают ряд перспективных направлений для дальнейшей работы, часть из которых непосредственно связана с интеграцией систем мониторинга вовлечённости студентов в виртуальную образовательную среду.

Интеграция мониторинга вовлечённости в реальном времени. Одним из наиболее востребованных расширений системы vacademia.uz является встроенный мониторинг вовлечённости обучающихся средствами компьютерного зрения. Переход к смешанным и дистанционным форматам обучения лишает преподавателя возможности оперативно считывать состояние аудитории: в онлайн-среде визуальный канал обратной

связи практически отсутствует. Автоматизация этого процесса позволит преподавателю получать агрегированные данные в режиме реального времени.

Перспективной технической основой для данного направления служит браузерный фреймворк MediaPipe Face Mesh, обеспечивающий определение 468 трёхмерных ориентиров лица непосредственно в браузере с частотой около 30 FPS на потребительских устройствах. На основе геометрических признаков — метрик EAR (Eye Aspect Ratio), MAR (Mouth Aspect Ratio) и направления взгляда (gaze offset) — возможен расчёт интегрального показателя вовлечённости в диапазоне 0–100 с классификацией на три уровня: высокий (≥ 70), средний (40–69), низкий (< 40).

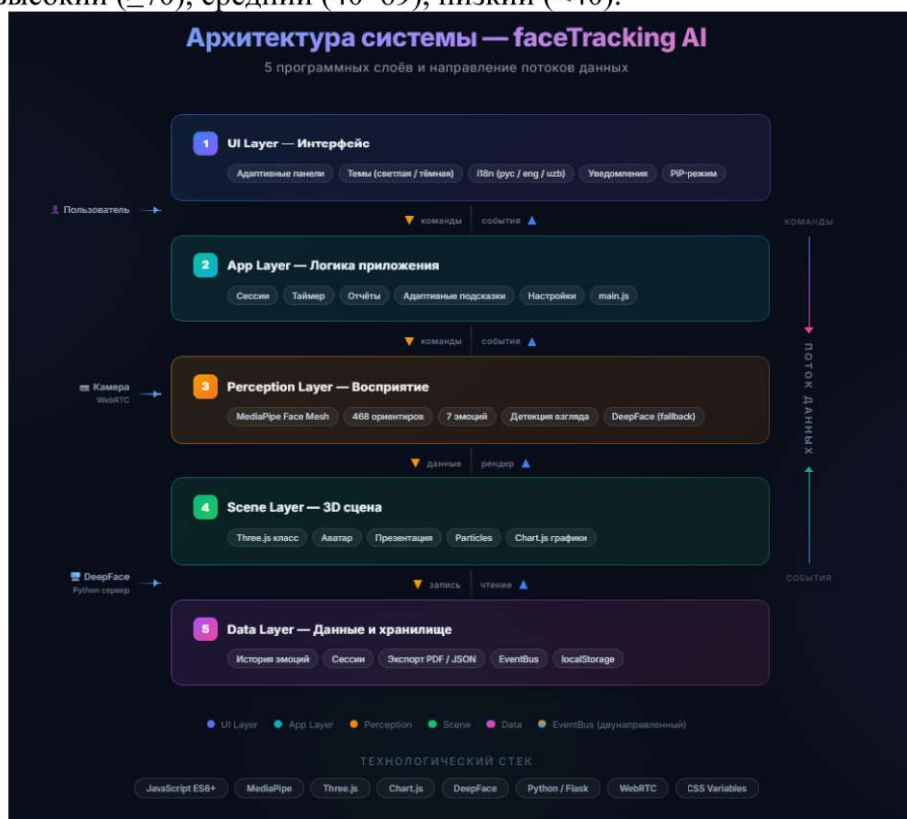


Рисунок 5 – Архитектура модуля мониторинга вовлечённости: пять программных слоёв (UI → оркестратор → восприятие → 3D-сцена → данные) и направление потоков данных

Персонализированная калибровка и расширение модели восприятия.

Пороговые значения признаков EAR, MAR и smileScore в базовом варианте системы не учитывают индивидуальные анатомические особенности пользователей, что вносит систематическую ошибку при определении нейтрального выражения лица. Короткая начальная калибровочная сессия длительностью 30–60 секунд позволила бы адаптировать пороги под конкретного пользователя и повысить точность классификации [7-9].

Расширение модели восприятия за счёт MediaPipe Pose (анализ позы тела) обеспечит учёт дополнительных поведенческих сигналов: наклона корпуса и положения рук. Это особенно актуально в контексте трёхмерного виртуального класса academia.uz, где аватар студента может транслировать его физическое состояние.

Серверная агрегация и отчётность.

Серверная агрегация данных нескольких студентов позволит формировать сводные аналитические отчёты для преподавателя в режиме реального времени. Система должна

поддерживать экспорт данных в форматах JSON и CSV с временной шкалой событий и автоматически проставленными тегами (#высокая_вовлечённость, #зевота, #отвлечение). Для сценариев, требующих повышенной точности, целесообразна интеграция опционального Python-сервера на базе DeepFace с бэкендами VGG-Face, ArcFace или FaceNet.

Валидация и масштабирование.

Необходима валидация системы на реальных учебных группах с привлечением субъективных экспертных оценок вовлечённости в качестве эталона. Параллельно планируется масштабирование инфраструктуры vacademia.uz для поддержки одновременной работы не менее 500 пользователей в единой виртуальной среде, что потребует оптимизации серверов синхронизации и пересмотра протоколов передачи данных.

Оптимизация 3D-контента и расширение национальной библиотеки объектов.

Текущая библиотека 3D-моделей национальных архитектурных объектов будет расширена за счёт интерьеров учебных аудиторий, лабораторий и административных помещений, выполненных в стиле узбекской традиционной архитектуры. Внедрение алгоритмов LOD (Level of Detail) позволит автоматически снижать детализацию удалённых объектов, сокращая нагрузку на GPU при одновременном присутствии большого числа пользователей.

Заключение. В настоящей статье представлена система национального виртуального университета на основе 3D-технологий в метакосмосе, реализованная в виде программного средства vacademia.uz. Разработаны функциональная IDEF1x-модель базы графических данных, алгоритмы визуализации с применением метода R-функции (RFM), конвертер 3D-моделей в формат BMF и клиент-серверная архитектура на платформе vAcademia.

Апробация системы в трёх организациях подтвердила практическую ценность разработки: скорость трёхмерного отображения объектов увеличена в 4 раза, производительность возросла на 10–13%, а интерес обучающихся к занятиям в виртуальной среде значительно повысился. Научная новизна работы определяется разработкой плагина экспорта BMF, функциональной IDEF1x-моделью и логической структурой программного средства для среды vAcademia с 3D-моделями национальных объектов.

Дальнейшее развитие системы направлено на интеграцию модуля мониторинга вовлечённости студентов на основе компьютерного зрения, персонализированную калибровку пороговых значений, расширение библиотеки национальных 3D-объектов и валидацию на реальных учебных группах. Совокупность этих мер позволит сформировать полноценную иммерсивную образовательную экосистему, отвечающую требованиям Стратегии «Цифровой Узбекистан–2030».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Указ Президента Республики Узбекистан «Об утверждении Стратегии «Цифровой Узбекистан-2030» и мерах по её эффективной реализации» [Текст]. – Ташкент, 2020.
- 2 Указ Президента Республики Узбекистан № УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы» [Текст]. – Ташкент, 2022.
- 3 Бекмуратов, Т. Ф. Методы использования виртуальных образовательных сред в учебном процессе [Текст] / Т. Ф. Бекмуратов, А. Х. Нишанов, Б. Б. Муминов. – Ташкент: ТУИТ, 2020.

4 Морозов, М. Трёхмерные виртуальные среды в образовании [Текст] / М. Морозов, А. Герасимов // Информатика и образование. – 2019. – № 3.

5 LaValle, S. M. Virtual Reality [Text] / S. M. LaValle. – Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

6 Fominykh, M. vAcademia: A 3D Virtual Learning Environment [Text] / M. Fominykh, E. Prasolova-Forland // Proceedings of IEEE VR. – 2014.

7 Гиёсов, У. Э. Программное средство проектирования 3D-моделей национальных объектов в среде vAcademia [Текст] / У. Э. Гиёсов, Ф. М. Нуралиев // Вопросы информатики. – 2022. – № 4.

8 Obukhov, V. Methods for using elliptic curves in cryptography [Text] / V. Obukhov, Z. Qadamova, M. Sobirov, O. Ergashev, R. Nabijonov // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 508. – P. 05009.

9 Обухов, В. А. Мониторинг вовлечённости студентов в реальном времени средствами компьютерного зрения: проектирование и реализация веб-приложения faceTracking [Текст] / В. А. Обухов, У. Э. Гиёсов, Ф. М. Нуралиев. – 2024.

10 Меженин, А. В. Трёхмерная компьютерная графика и методы визуализации [Текст] / А. В. Меженин. – СПб.: ГУАП, 2018.

11 Nuraliev, F. M. О применении R-функции для геометрического моделирования 3D объектов сложных форм в виртуальной среде образования [Text] / F. M. Nuraliev, M. N. Morozov, J. Yorkulov // Программные системы и вычислительные методы. – 2023. – DOI: <https://doi.org/10.7256/2454-0714.2023.3.36937>.

12 Гиёсов, У. Э. На основе полученной среды виртуальной реальности в системе образования [Текст] / У. Э. Гиёсов // Научно-технический журнал Наманганского инженерно-технологического института. – Наманган, 2021. – Т. 6, вып. 1. – С. 305–311.

13 Нуралиев, Ф. М. Современный подход к обучению: виртуальная реальность и 3D-моделирование [Текст] / Ф. М. Нуралиев, У. Э. Гиёсов // Вестник Туринского политехнического университета в Ташкенте. – № 11(1). – С. 44–48.

14 Нуралиев, Ф. М. Последние разработки в области виртуальной реальности для системы образования [Текст] / Ф. М. Нуралиев, У. Э. Гиёсов, Н. Х. Тураева // Современные проблемы математики и информатики: материалы Республиканской научно-практической конференции. – Фергана, 2019. – С. 200–202.

15 Нуралиев, Ф. М. Интерактивное виртуальное обучение в виртуальном мире [Текст] / Ф. М. Нуралиев, У. Э. Гиёсов // Материалы Международной междисциплинарной научной дистанционной онлайн-конференции по инновационным решениям и передовым экспериментам. – 2020. – С. 302–305.

16 Нуралиев, Ф. М. Повышение эффекта погружения в 3D виртуальную среду [Текст] / Ф. М. Нуралиев, У. Э. Гиёсов // Вопросы использования современных систем и технологий образования в современных условиях подготовки высококвалифицированных кадров: материалы Республиканской научно-методической конференции. – Ташкент, 2021. – С. 255–257.

17 Нуралиев, Ф. М. Разработка подхода к обучению 3D-примитивам с использованием виртуальной реальности [Текст] / Ф. М. Нуралиев, У. Э. Гиёсов // Технические науки Nesotsal.uz. – Ташкент, 2020. – № 5, Т. 3. – С. 32–39. – DOI: 10.26739/2181-9696-2020-5-5.

REFERENCES

1 Ukaz Prezidenta Respubliki Uzbekistan «Ob utverzhdenii Strategii “Cifrovoy Uzbekistan-2030” i merah po eyo effektivnoj realizacii» [On Approval of the “Digital

Uzbekistan-2030” Strategy and Measures for Its Effective Implementation]. Tashkent, (2020). – (In Rus)

2 Ukaz Prezidenta Respubliki Uzbekistan № UP-60 «O Strategii razvitiya Novogo Uzbekistana na 2022–2026 gody» [On the Development Strategy of New Uzbekistan for 2022–2026]. Tashkent, (2022). – (In Rus)

3 Bekmuratov, T.F., Nishanov, A.H., Muminov, B.B. Metody ispol'zovaniya virtual'nyh obrazovatel'nyh sred v uchebnom processe [Methods of Using Virtual Educational Environments in the Educational Process]. Tashkent: TUIT, (2020). – (In Rus)

4 Morozov, M., Gerasimov, A. Tryohmernye virtual'nye sredy v obrazovanii [Three-Dimensional Virtual Environments in Education]. Informatika i obrazovanie. (2019): No 3. – (In Rus)

5 LaValle, S.M. Virtual Reality. Cambridge: Cambridge University Press, (2017).

6 Fominykh, M., Prasolova-Forland, E. vAcademia: A 3D Virtual Learning Environment. Proceedings of IEEE VR. (2014). – (In Eng)

7 Giyosov, U.E., Nuraliev, F.M. Programmnoe sredstvo proektirovaniya 3D-modelej nacional'nyh ob'ektov v srede vAcademia [Software Tool for Designing 3D Models of National Objects in the vAcademia Environment]. Voprosy informatiki. (2022): No 4. – (In Rus)

8 Obukhov, V., Qadamova, Z., Sobirov, M., Ergashev, O., Nabijonov, R. Methods for using elliptic curves in cryptography. E3S Web of Conferences. (2024): Vol. 508. P. 05009.

9 Obuhov, V.A., Giyosov, U.E., Nuraliev, F.M. Monitoring vovlechyonnosti studentov v real'nom vremeni sredstvami komp'yuternogo zreniya: proektirovanie i realizaciya veb-prilozheniya faceTracking [Real-Time Monitoring of Student Engagement Using Computer Vision: Design and Implementation of the faceTracking Web Application]. (2024). – (In Rus)

10 Mezhenin, A.V. Tryohmernaya komp'yuternaya grafika i metody vizualizacii [Three-Dimensional Computer Graphics and Visualization Methods]. SPb.: GUAP, (2018). – (In Rus)

11 Nuraliev, F.M., Morozov, M.N., Yorkulov, J. O primenении R-funkcii dlya geometricheskogo modelirovaniya 3D ob'ektov slozhnyh form v virtual'noj srede obrazovaniya [On the Application of the R-Function for Geometric Modeling of 3D Objects of Complex Shapes in a Virtual Educational Environment]. Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody. (2023). DOI: <https://doi.org/10.7256/2454-0714.2023.3.36937>. – (In Rus)

12 Giyosov, U.E. Na osnove poluchennoj sredy virtual'noj real'nosti v sisteme obrazovaniya [Based on the Obtained Virtual Reality Environment in the Education System]. Nauchno-tehnicheskij zhurnal Namanganskogo inzhenerno-tehnologicheskogo instituta. Namangan, (2021): T. 6, vyp. 1. S. 305–311. – (In Rus)

13 Nuraliev, F.M., Giyosov, U.E. Sovremennyy podhod k obucheniyu: virtual'naya real'nost' i 3D-modelirovanie [A Modern Approach to Learning: Virtual Reality and 3D Modeling]. Vestnik Turinskogo politehnicheskogo universiteta v Tashkente. No 11(1). S. 44–48. – (In Rus)

14 Nuraliev, F.M., Giyosov, U.E., Turaeva, N.H. Poslednie razrabotki v oblasti virtual'noj real'nosti dlya sistemy obrazovaniya [Recent Developments in Virtual Reality for the Education System]. Sovremennye problemy matematiki i informatiki: materialy Respublikanskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Fergana, (2019): S. 200–202. – (In Rus)

15 Nuraliev, F.M., Giyosov, U.E. Interaktivnoe virtual'noe obuchenie v virtual'nom mire [Interactive Virtual Learning in the Virtual World]. Materialy Mezhdunarodnoj mezhdisciplinarnoj nauchnoj distancionnoj onlajn-konferencii po innovacionnym resheniyam i peredovym eksperimentam. (2020): S. 302–305. – (In Rus)

16 Nuraliev, F.M., Giyosov, U.E. Povyshenie effekta pogruzheniya v 3D virtual'nuyu sredu [Enhancing the Immersion Effect in a 3D Virtual Environment]. Voprosy ispol'zovaniya sovremennyh sistem i tehnologij obrazovaniya v sovremennyh usloviyah podgotovki

vysokokvalificirovannyh kadrov: materialy Respublikanskoj nauchno-metodicheskoy konferencii. Tashkent, (2021): S. 255–257. – (In Rus)

17 Nuraliev, F.M., Giyosov, U.E. Razrabotka podhoda k obucheniyu 3D-primitivam s ispol'zovaniem virtual'noj real'nosti [Development of an Approach to Teaching 3D Primitives Using Virtual Reality]. Tehnicheskie nauki Nesotsal.uz. Tashkent, (2020): No 5, T. 3. S. 32–39. DOI: 10.26739/2181-9696-2020-5-5. – (In Rus)