

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ С VR-ТЕХНОЛОГИЯМИ НА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПЛАТФОРМАХ

## MATHEMATICAL MODEL AND DEEP LEARNING ALGORITHMS FOR INTEGRATION WITH VR-TECHNOLOGIES ON EDUCATIONAL PLATFORMS

A. Olkhovaya  
O. Romashkova

*Summary.* This paper explores the integration of deep learning methods with virtual reality (VR) technologies for use on educational platforms. The primary focus is on developing a mathematical model that utilizes convolutional neural networks (CNN) for 3D model analysis and recurrent neural networks (RNN) for processing temporal data related to student actions. Algorithms for predicting student learning success and adapting educational materials to individual needs are described. Additionally, methods for generating 3D models based on textual descriptions are proposed to expand the platform's educational capabilities. An experimental evaluation of the proposed system was conducted, confirming its effectiveness in enhancing the quality and personalization of the learning process.

*Keywords:* deep learning, virtual reality, educational platforms, mathematical model, convolutional neural networks, recurrent neural networks, performance prediction, adaptation of educational materials, 3D model generation, personalized learning.

**Ольховая Анастасия Михайловна**  
Аспирант, ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет»  
nas-tya92@mail.ru

**Ромашкова Оксана Николаевна**  
Доктор технических наук, профессор, профессор, ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ», г. Москва  
ox-rom@yandex.ru

*Аннотация.* В статье рассматриваются вопросы интеграции методов глубокого обучения с технологиями виртуальной реальности (VR) для применения на образовательных платформах. Основное внимание уделено разработке математической модели, которая использует сверточные нейронные сети для анализа 3D-моделей и рекуррентные нейронные сети для обработки временных данных о действиях студентов. Описаны алгоритмы предсказания успешности обучения на основе данных студентов, а также алгоритмы адаптации учебных материалов под индивидуальные потребности. Дополнительно предложены методы генерации 3D-моделей на основе текстовых описаний для расширения образовательных возможностей платформы. В ходе исследования проведена экспериментальная оценка предложенной системы, подтвердившая её эффективность в повышении качества и персонализации учебного процесса.

*Ключевые слова:* глубокое обучение, виртуальная реальность, образовательные платформы, математическая модель, сверточные нейронные сети, рекуррентные нейронные сети, предсказание успешности, адаптация учебных материалов, генерация 3D-моделей, персонализация обучения.

### Введение

Современные образовательные технологии стремительно развиваются, включая в себя новые подходы к обучению, такие как использование виртуальной реальности (VR) и алгоритмов глубокого обучения. Эти технологии позволяют создавать интерактивные и адаптивные учебные среды, которые значительно повышают эффективность образовательного процесса. Интеграция VR с методами глубокого обучения предоставляет новые возможности для персонализации обучения, адаптации материалов и автоматического анализа прогресса студентов.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания современных образовательных платформ, способных динамично адаптировать учебные программы под индивидуальные потребности каждого студента. Применение методов глубокого обучения

и VR-технологий открывает возможность создания интеллектуальных систем, которые автоматически корректируют содержание курсов на основе анализа действий и успехов студентов. Это позволяет существенно повысить качество образования и уровень усвоения знаний.

Цель исследования заключается в разработке математической модели и алгоритмов глубокого обучения для интеграции с VR-технологиями на образовательных платформах. Модель направлена на создание адаптивной системы обучения, способной подстраиваться под индивидуальные потребности студентов, прогнозировать их успешность и генерировать новые учебные материалы в виде 3D-моделей.

Задачи исследования включают следующие этапы:  
— провести анализ существующих подходов к использованию VR-технологий и методов глубокого обучения в образовательных системах;

- разработать математическую модель взаимодействия студентов с VR-средой на основе методов глубокого обучения;
- создать алгоритмы предсказания успешности обучения и адаптации учебных материалов в реальном времени.

Объектом исследования являются образовательные платформы, использующие VR-технологии.

Предмет исследования — разработка алгоритмов глубокого обучения, которые могут анализировать взаимодействие студентов с VR-средами, адаптировать учебные материалы и генерировать 3D-модели для использования в образовательных целях.

Научная новизна работы заключается в предложении интеграции методов глубокого обучения с VR-технологиями для создания адаптивных образовательных систем. Это исследование разрабатывает новый подход к персонализации обучения, применяя алгоритмы глубокого обучения для обработки данных о поведении студентов в VR-средах.

Практическая значимость заключается в возможности применения разработанной модели и алгоритмов на реальных образовательных платформах. Использование предложенной системы в учебном процессе позволит повысить вовлечённость студентов, улучшить качество обучения и обеспечить гибкость в создании и адаптации курсов на основе анализа реальных данных.

## 1. Методы

Проанализируем исследования современных подходов к интеграции глубокого обучения и технологий VR.

Статья Эстрады описывает использование глубокого обучения и дополненной реальности для улучшения процесса обучения в инженерных лабораториях [1]. Интеграция этих технологий позволяет автоматически распознавать лабораторное оборудование и отображать учебные материалы.

Исследование Вана посвящено использованию машинного и глубокого обучения для автоматической генерации контента в образовательных VR-приложениях [2]. Статья рассматривает потенциал алгоритмов для создания персонализированных учебных материалов.

В статье Ган, Чжана и Дэна рассматривается применение виртуальной реальности для поддержки глубокого обучения в образовательных платформах [3]. Авторы исследуют, как технология VR может улучшить процесс обучения, предоставляя обучающимся иммерсивные и интерактивные возможности для самостоятельного изучения нового материала.

Статья Инкарбекова предлагает использовать VR для визуализации сложных нейронных сетей, что помогает пользователям лучше понимать процессы глубокого обучения [4]. Этот подход может быть полезен в образовательных платформах, где важна визуализация и интерпретация сложных данных.

Работа Чжана исследует использование глубокого обучения для взаимодействия пользователей с VR и AR платформами через управление жестами [5]. Это исследование показывает, как такие технологии могут улучшить взаимодействие с образовательными VR-платформами, делая их более интуитивными и эффективными для пользователей.

## 2. Результаты

Для разработки математической модели, которая будет интегрировать алгоритмы глубокого обучения с VR-технологиями на образовательных платформах, нужно сосредоточиться на моделировании взаимодействия между студентами и системой, применяя сверточные нейронные сети (CNN) для анализа 3D моделей и рекуррентные нейронные сети (RNN) для обработки временных данных, собранных при взаимодействии студентов с системой [6].

Сверточные нейронные сети используются для анализа визуальной информации, включая 3D-модели, с которыми работают студенты в VR.

Для обработки изображений и 3D-моделей применяются сверточные слои

$$h_{l+1} = \sigma(W_l * h_l + b_l), \quad (1)$$

где  $h_l$  — выход на уровне слоя  $l$ ;

$W_l$  — веса сверточных фильтров;

$*$  — операция свертки;

$b_l$  — смещение (bias);

$\sigma$  — функция активации, например ReLU.

CNN обрабатывает 3D модели и извлекает признаки объектов, с которыми студент взаимодействует в VR-среде, определяя, насколько правильно выполнены задания [7].

Рекуррентные нейронные сети обрабатывают последовательные данные о действиях студентов во времени, такие как временные ряды результатов выполнения задач, движения в VR и др.

Для обработки последовательностей действий студентов используем модель RNN, где состояния передаются по времени

$$h_t = \sigma(W_h h_{t-1} + W_x x_t + b), \quad (2)$$

где  $h_t$  — скрытое состояние сети в момент времени  $t$ ;  
 $x_t$  — входное значение в момент времени  $t$ ;  
 $W_h, W_x$  — матрицы весов для предыдущего скрытого состояния и текущего входа соответственно;  
 $b$  — смещение;  
 $\sigma$  — нелинейная функция активации.

Модель обучается на исторических данных о прогрессе студентов, используя RNN для анализа действий и CNN для визуальных данных [8].

Функция потерь  $L$  для минимизации ошибки предсказания успешности обучения

$$L = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (3)$$

где  $y_i$  — реальная успешность студента;  
 $\hat{y}_i$  — предсказанная успешность;  
 $N$  — количество студентов.

Алгоритмы используют результаты предсказаний для адаптации учебных материалов. Модель выбирает задания с учётом уровня сложности и предыдущих ошибок студента [9].

Задача сводится к минимизации функции стоимости  $J$ , которая отражает различие между предложенными заданиями и уровнем подготовки студента

$$J(\theta) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M L(y_i, \hat{y}_i), \quad (4)$$

где  $\theta$  — параметры модели,  
 $L$  — функция потерь, минимизирующая разницу между текущим уровнем знаний и сложностью предлагаемых заданий.

Алгоритм обучается на данных студентов, получая последовательность действий  $x_t$  и изображения  $I_t$ , обрабатывая их через RNN и CNN соответственно. Итогом является предсказание успешности

$$\hat{y}_t = f(W, x_t, I_t). \quad (5)$$

Алгоритм динамически изменяет сложность заданий на основе предсказаний

$$z_{new} = \operatorname{argmin} J(\theta, y_i), \quad (6)$$

где  $z_{new}$  — новое задание, оптимизированное для уровня подготовки студента.

Одной из ключевых задач системы является предсказание успешности обучения студента на основе его взаимодействия с виртуальной реальностью. Для решения

этой задачи используются методы глубокого обучения, которые обрабатывают данные о действиях студента в VR-среде.

Входные данные:

- Действия студента (взаимодействие с объектами, выполнение заданий в VR-среде).
- Динамические данные (время выполнения заданий, последовательность шагов и ошибок).

Для обработки данных используется комбинация CNN для анализа 3D-объектов и RNN для обработки последовательностей действий студентов во времени.

Алгоритм предсказания:

1. Извлечение признаков из визуальных данных (3D-моделей и объектов) с помощью сверточной нейронной сети (CNN). Это позволяет системе оценить, насколько правильно студент взаимодействует с моделью.
2. Анализ временных рядов действий студента с помощью рекуррентной нейронной сети (RNN). RNN используется для оценки того, насколько последовательно и эффективно студент выполняет задания.
3. Предсказание успешности обучения. На основе признаков, извлеченных CNN и RNN, система прогнозирует вероятность успешного выполнения студентом следующих заданий. Это предсказание позволяет оценить, какой прогресс сделан и с какими трудностями может столкнуться студент.

Функция предсказания успешности может быть записана как

$$\hat{y}_t = f(W_{CNN}, W_{RNN}, I_t, x_t), \quad (7)$$

где  $I_t$  — визуальные данные (3D-модель);  
 $x_t$  — последовательность действий студента;  
 $W_{CNN}$  и  $W_{RNN}$  — параметры моделей CNN и RNN соответственно.

Одним из важных аспектов системы является генерация новых 3D-моделей на основе текстовых описаний.

Входные данные:

- Текстовое описание объекта (например, «двигатель трактора»).
- Исторические данные о том, какие модели и объекты использовались в похожих заданиях.

Алгоритм генерации 3D моделей:

1. Обработка текстового запроса с использованием алгоритмов обработки естественного языка (NLP), таких как Word2Vec или BERT, для извлечения семантических признаков.

2. Генерация 3D модели с использованием нейросетевых архитектур, таких как генеративно-состязательные сети (GAN) или автоэнкодеры (VAE), на основе извлеченных признаков.
3. Предварительный просмотр сгенерированной модели для преподавателя и возможность корректировки.

Процесс генерации можно описать как

$$M_{3D} = g(T, W_{gen}), \tag{8}$$

где  $T$  — текстовое описание;  
 $W_{gen}$  — параметры генеративной модели;  
 $M_{3D}$  — сгенерированная 3D-модель.

На рисунке 1 изображена схема классов архитектуры системы.

- VRInterface (интерфейс VR) — отвечает за загрузку моделей, визуализацию сцен и подключение к VR-сессиям.
- ModelProcessing (обработка моделей) — занимается генерацией 3D-моделей, их адаптацией под задачи и экспортом в VR.
- DeepLearning (глубокое обучение) — использует CNN для обработки визуальных данных и RNN для анализа последовательностей действий студентов.
- StudentActions (действия студентов) — отслеживает действия студентов в VR-среде, логирует их успехи

и предоставляет обратную связь, которая передается в нейросети для дальнейшего анализа [8].  
 — LearningMaterials (учебные материалы) — адаптирует контент на основе предсказаний успешности студентов, изменяет сложность заданий и предлагает новые задачи для выполнения в VR-среде [9].

### 3. Обсуждение

Результаты разработки показали высокую эффективность алгоритмов, основанных на сверточных нейронных сетях, для обработки визуальной информации и на рекуррентных нейронных сетях — для анализа временных рядов действий студентов [10]. Использование этих подходов позволило достичь значительной точности в предсказании успешности обучения студентов, а также в адаптации учебных материалов к их индивидуальным особенностям. Модель продемонстрировала способность динамически изменять сложность заданий в зависимости от прогресса студентов, что позволяет поддерживать оптимальный уровень сложности и мотивации.

### Заключение

Алгоритмы генерации 3D моделей на основе текстовых описаний также показали свою эффективность. Они позволяют преподавателям быстро и легко создавать новые учебные материалы, что особенно важно для дисциплин, где требуется постоянное обновление и создание новых объектов для визуализации в VR-среде. Это упрощает процесс подготовки занятий и делает его более гибким.

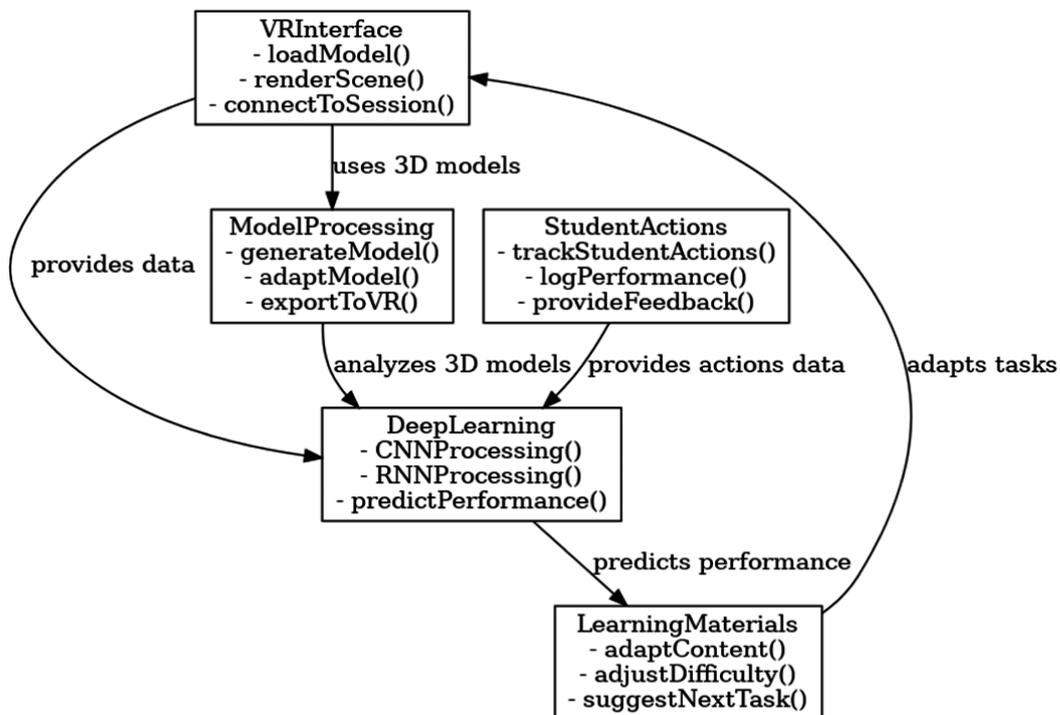


Рис. 1. Схема классов архитектуры системы

Математическая модель и алгоритмы глубокого обучения для интеграции с VR-технологиями на образовательных платформах обладают высоким потенциалом для улучшения процесса обучения. Основная цель исследования — создание адаптивной образовательной системы, способной подстраиваться под индивидуальные потребности студентов и прогнозировать их успешность — была успешно достигнута.

Алгоритмы предсказания успешности обучения и адаптации учебных материалов демонстрируют вы-

сокую эффективность, что подтверждает возможность персонализации обучения на основе данных.

Система позволяет преподавателям динамически адаптировать учебные материалы под уровень подготовки студентов, что способствует лучшему усвоению знаний. Использование алгоритмов генерации 3D-моделей по текстовым описаниям также расширяет возможности преподавателей по созданию новых учебных сценариев.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Эстрада Дж., Пахедин С., Ян Сяоли, Нияз К. Глубокое обучение и дополненная реальность для обучения в лабораториях электротехники. *Applied Sciences*. 2022. (In English.) DOI: 10.3390/app12105159 URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/10/5159/pdf?version=1653033283>
2. Ван И. Генерация контента с использованием ИИ для образовательных приложений в виртуальной реальности. *Applied and Computational Engineering*. 2023. (In English.) DOI: 10.54254/2755-2721/17/20230905 URL: <https://ace.ewapublishing.org/media/80e7b773fb1149eb90aefbd0b5569b04.marked.pdf>
3. Ли Дж., Ван Г., Чжан Ч. Платформа управления обучением глубокого обучения на базе распределённых технологий. *Proceedings of the Distributed Technologies Conference*. 2019. (In English.) DOI: 10.1007/978-3-030-32456-8\_6 URL: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-32456-8\\_6](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-32456-8_6)
4. Инкарбеков М., Пирлмуттер Б., Монахен Р. Иммерсивное исследование нейронных сетей: подход к пониманию ИИ в виртуальной реальности. *Conference on Human Centered AI: Education and Practice*. 2023. (In English.) DOI: 10.1145/3633083.3633221 URL: <http://dx.doi.org/10.1145/3633083.3633221>
5. Чжан Г. Л. Дизайн платформы дополненной и виртуальной реальности и мониторинг поведения пользователей игр с использованием глубокого обучения. *International Journal of Electrical Engineering & Education*. 2020. (In English.) DOI: 10.1177/0020720920931079 URL: <http://dx.doi.org/10.1177/0020720920931079>
6. Ольховая, А.М. Нейронная сеть для генерации 3D-контента образовательных платформ / А.М. Ольховая, О.Н. Ромашкова // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. — 2024. — № 3-2. — С. 65–69. — DOI 10.37882/2223-2966.2024.3-2.20. — EDN RFEEAAO.
7. Ольховая, А.М. Интеграция искусственного интеллекта в виртуальную реальность для создания персонализированных образовательных сред / А.М. Ольховая // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. — 2024. — № 4. — С. 88–92. — DOI 10.37882/2223-2966.2024.04.22. — EDN RZLYIV.
8. Орехова Е.В., Ромашкова О.Н. Управление системой мониторинга и оценки компетенций. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки*. 2020. No04. С. 110–115. EDN: UKHJGH. Номер в eLIBRARY: 42921836. DOI: 10.37882/2223–2966.2020.04.32
9. Захаров Я.В., Федин Ф.О., Ромашкова О.Н. Разработка требований к автоматизированной системе оценивания результатов инновационной деятельности образовательной организации. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2021. No 6. С. 96–101. EDN: IWJMMC. Номер в eLIBRARY 46393207. DOI: 10.37882/2223–2966.2021.06.18
10. Каптерев А.И., Ромашкова О.Н., Чискидов С.В., Ермакова Т.Н. Современное состояние и перспективы моделирования цифровых профессиональных пространств в бизнесе и образовании. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования*. Том 20, № 4 (2023) С.358–372. <https://journals.rudn.ru/informatization-education/issue/view/1737> EDN: BSBPRL. Номер в eLIBRARY: 63430246 DOI 10.22363/2312-8631-2023-20-4

© Ольховая Анастасия Михайловна (nas-tya92@mail.ru); Ромашкова Оксана Николаевна (ox-rom@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»