

DOI 10.31483/r-112497

*Родзин Сергей Иванович**Бова Виктория Викторовна*

## МЕТАВСЕЛЕННАЯ КАК ОДНА ИЗ ОСНОВ БУДУЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

*Аннотация:* метавселенная – это коллективное общее пространство для взаимодействия, создаваемое в результате конвергенции физической реальности и виртуального пространства, включая дополненную реальность и Интернет. Потенциал метавселенной в сфере образования вызывает растущий интерес, и многие исследователи изучают возможности повышения эффективности обучения студентов, одновременно сокращая время и трудозатраты для обеспечения образовательного процесса. Однако системные и технологические аспекты предоставления образования через метавселенную остаются недостаточно проработанными. Для восполнения этого пробела в работе представлена концепция и архитектура метавселенной, объединяющая технологии искусственного интеллекта, Web3 и технологию блокчейна для создания среды обучения. Анализируются существующие подходы по созданию интеллектуальных систем и геймификации обучения, а также некоторые проекты создания метавселенной. Целью предлагаемого подхода к созданию метавселенной является проектирование виртуального обучающего пространства, начинающегося с отражения физического мира, хранения траекторий обучения пользователей, деревьев знаний в блокчейне и обеспечение безопасного и открытого сообщества. Представлены основные этапы разработки метавселенной, включающие клонирование, расширение и объединение физических и виртуальных компонентов, а также технологии блокчейна. Отмечается, что в России к настоящему времени сложились необходимые предпосылки для реализации метавселенной как одной из основ будущего образования.

*Ключевые слова:* метавселенная, технология блокчейн, виртуальная реальность, Web3.

**Abstract:** *the metaverse is a collective common space for interaction created as a result of the convergence of physical reality and virtual space, including augmented reality and the Internet. The potential of the metaverse in the field of education is of growing interest, and many researchers are exploring ways to improve the effectiveness of student learning, while reducing time and labor costs to ensure the educational process. However, the systemic and technological aspects of providing education through the metaverse remain insufficiently developed. To fill this gap, the paper presents the concept and architecture of the metaverse, combining artificial intelligence technologies, Web3 and blockchain technology to create a learning environment. The existing approaches to the creation of intelligent systems and gamification of learning, as well as some projects for the creation of a metaverse, are analyzed. The purpose of the proposed approach to creating a metaverse is to design a virtual learning space that begins with reflecting the physical world, storing user learning trajectories, knowledge trees in the blockchain, and providing a secure and open community. The main stages of the metaverse development are presented, including cloning, expansion and integration of physical and virtual components, as well as blockchain technologies. It is noted that by now the necessary prerequisites have developed in Russia for the realization of the metaverse as one of the foundations of future education.*

**Keywords:** *metaverse, blockchain technology, virtual reality, Web3.*

### *1. Введение.*

Образование – это не только система воспитания и обучения личности, помогающая приобретать знания, умения, навыки и ценностные установки. Образование имеет основополагающее значение для роста и развития общества, поскольку оно помогает людям понять новые концепции, идеи и методологии, позволяющие улучшать мир. Понимание системы образования, обеспечивающей эффективное обучение, всегда было сложной задачей. В идеале все образование должно быть персонализировано с учетом предпочтений каждого отдельного учащегося. Широкий спектр стилей обучения и разная степень способностей не позволяют традиционным методам обучения быть универсально эффективными.

Более того, нынешний универсальный подход к образованию представляет собой барьер для студентов, которые могли бы добиться успеха, если бы им было предоставлено индивидуальное обучение.

Многие исследования в этом направлении были посвящены интеллектуальным системам обучения (ИСО), в которых методы вычислительного интеллекта использовались для имитации ассистентов-репетиторов. Как указано в [1] история продуктивных исследований ИСО привела к их успешному применению в специальном образовании, военной подготовке и здравоохранении. В ранних версиях ИСО они выполняли роль помощников в домашних заданиях, могли предложить неправильные рекомендации. ИСО продолжают совершенствовать математические модели обучаемых с помощью методов машинного обучения, способны контролировать поведение учащихся в процессе обучения и определять их индивидуальные потребности в процессе обучения. Однако в современных ИСО по-прежнему возникают проблемы с мотивацией учащихся и предоставлением интересного контента.

Другое направление работы заключается в стремлении повысить вовлеченность учащихся посредством геймификации, т.е. техник и подходов, характерных для компьютерных игр. Это позволяет обеспечить измеримую обратную связь, быстрое освоение умений и навыков, способствует созданию у пользователей ощущения сопричастности, вклада в общее дело, интереса к достижению каких-либо целей, представлению образовательного контента в увлекательной обстановке. Учащиеся могут быть отвлечены игрой, не осознавая, что учатся. Игры могут стать полностью автономными, обеспечивая обучение без необходимости вмешательства учителя [2]. Предоставление таких персонализированных игровых задач важно и имеет много потенциальных преимуществ, однако в этом направлении существуют определенные проблемы. Хотя игры обеспечивают прекрасную среду для поддержки контекстуальных знаний, однако требование самостоятельного и саморегулируемого обучения затрудняет максимальное раскрытие потенциала игры. Несмотря на то, что в играх имеется широкий спектр данных, позволяющих разработчикам и исследователям анализировать успехи

обучающихся и эффективность игр, данных о результатах подобного рода обучения немного. Без необходимых данных невозможно воспользоваться преимуществами интеллектуального анализа данных и искусственного интеллекта для построения точных моделей обучающихся/игроков. Более того, многие адаптивные игровые задания основаны на опыте для одного игрока и не учитывают преимуществ социального и группового обучения. В то же время последние технологические достижения сделали возможным обучение где угодно и когда угодно, не ограничиваются учебными аудиториями и позволяют собирать информацию об обучающихся в различных условиях.

Метавселенная – это коллективное общее пространство для взаимодействия, созданное в результате конвергенции физической реальности и виртуального пространства, включая дополненную реальность и Интернет [3]. По сути, метавселенная представляет собой следующее поколение социальных связей [4], являясь одним из потенциальных решений вышеупомянутой проблемы в образовании путем расширения физического обучения с помощью виртуальных и дополненных технологий. Предлагается путь к созданию образовательного социального пространства, в котором обучающиеся смогут взаимодействовать и общаться с коллегами во время обучения. Кроме того, гибкая и настраиваемая природа виртуальных пространств позволяет адаптировать широкий спектр заданий и образовательных подходов, включая индивидуальную поддержку. Образование в метавселенной остается пока новой темой, систематических подходов к этому типу системы образования еще не создано [5]. Непроработанными также остаются многочисленные проблемы с безопасностью подобного рода систем [6].

В главе представлена концепция и архитектура метавселенной, объединяющая технологии искусственного интеллекта, Web3 и технологию блокчейна, которая используется для обеспечения безопасности и прозрачности социальных связей.

## *2. Анализ ИСО и игровых подходов.*

За последние годы эффективность ИСО была продемонстрирована в различных областях образования, таких как компьютерное программирование, изучение языков, моделирование динамических систем, математика [7]. ИСО предоставляют обучающимся более персонализированный контент и обратную связь о своем обучении, одновременно снижая нагрузку на преподавателей.

С этой целью успешно применялись разнообразные методы искусственного интеллекта: обучение с подкреплением [8], биоинспирированные алгоритмы [9], байесовский подход [10] и нечеткая логика [11], которые позволяют системам ИИ обучаться и адаптироваться к новым данным.

Помимо этого, появились разработки, ориентированные на интеллектуальный анализ данных, большие данные и мультимодальную аналитику в обучении [1]. Такие методы, как генеративно-состязательные сети [12], обучение без учителя [13] и кластеризация [14] могут работать с данными об обучающихся для выявления тенденций и прогнозирования, которые, в свою очередь, могут использоваться для обеспечения соответствующей поддержки процесса обучения.

Геймификация расширяет возможности ИСО для образовательных целей. Игровой подход можно интегрировать с ИСО для создания среды обучения, в которой больше внимания уделяется решению задач. Принципы геймификации, представленные в [15], применяются для большей вовлеченности в процессе обучения в сравнении со стандартными ИСО или аудиторным обучением. С другой стороны, некоторые технологии и системы, созданные в ИСО, также применимы в игровых заданиях для реализации обучения с подкреплением, машинного обучения с учителем и нечеткой логике [16].

Современные технологические достижения привели к созданию динамических сетей обучающихся и мирового образовательного контента. Образование выходит за пределы аудиторий. Однако как ИСО, так и обучающие игры в основном используются в традиционных учебных аудиториях или для индивидуального обучения. Назревает необходимость применения ИСО и обучающих игр для решения проблемы «обучения без границ» и многих социальных ситуаций, в которых присутствует образование.

Идея метавселенной получила распространение в последние годы [3]. Исследователи сейчас изучают возможности и технологии общего виртуального социального пространства для работы, учебы и развлечений. Уровень социальных связей, мобильности и сотрудничества в метавселенной представляет большую ценность для образования, особенно в плане «обучение без границ». Например, в [17], предложили использовать метавселенную и глубокое обучение с подкреплением для улучшения экстренной эвакуации, которая поможет изучать и прогнозировать эффективные маршруты эвакуации. Методы искусственного интеллекта играют важную роль в метавселенной, обеспечивая построение моделей обучения и принятие решений [18]. В [19] был представлен алгоритм оптимизации группового обучения, который имитирует механизм группового обучения студентов с учетом того, что у них может быть разная мотивация к обучению. Идея алгоритма заключается в повышении уровня знаний всех студентов за счет моделирования механизма группового обучения. Аналогично, технология блокчейна может быть интегрирована в метавселенную, выведя образование на другой уровень [20].

Несмотря на очевидные преимущества метавселенной для образования, это малоисследованная область. Ведутся довольно широкие дискуссии о преимуществах и потенциале ее применения [21], но технологических разработок в этом направлении немного:

- проект виртуального класса с программным и аппаратным коммерческим обеспечением представлен в [22];
- виртуальная среда обучения и неигровые интеллектуальные персонажи-наставники в [5];
- пример использования университета-консорциума для обучения в метавселенной в [23].

Существует необходимость в формальных, систематических подходах к развитию образования в метавселенной и, в частности, интеграции физического и виртуального миров для достижения оптимального обучения. Методы машинного обучения и искусственного интеллекта предоставляют возможность

тестирования моделей и алгоритмов в виртуальной среде, что может оказаться сложным или даже невозможным провести в физической среде. Оптимальная схема обучения, проверенная в виртуальной среде, затем может быть использована в реальной среде, включая обратную связь между виртуальным и физическим пространствами.

### *3. Метавселенная*

Метавселенная обладает потенциалом сделать образование более гибким, интерактивным и эффективным при равной доступности обучения. Чем больше возможностей предоставляет Метавселенная, тем сложнее становится система обучения и тем больше проблем необходимо решать. Целью предлагаемого подхода к формированию метавселенной является создание виртуального обучающего пространства, начинающегося с отражения физического мира, хранения траекторий обучения пользователей, деревьев знаний в блокчейне и обеспечение безопасного и открытого сообщества. В отличие от обучения в виртуальной реальности, метавселенная защищает конфиденциальность пользователей, сохраняя при этом актуальность информации через Web3.

Создание виртуального клона реальной среды обучения и его расширение позволит сделать процесс обучения более мотивированным для пользователей. Метавселенная включает Web3 на основе технологии блокчейна, которая позволяет интегрировать виртуальный мир с физическим миром с точки зрения системы обучения, а также систему идентификации. Каждый пользователь имеет определенный контент и возможность редактировать виртуальный мир через свои аватары. Метавселенная состоит из трех частей: систему физического обучения, Web3 и систему виртуального обучения.

Физический мир – это преподаватели, студенты и т. д., которые могут общаться друг с другом и выполнять учебную деятельность. Система физического обучения обеспечивает возможность обучения в физическом мире и, следовательно, содержит аппаратное и программное обеспечение, средства связи и доступа к образовательным приложениям: книги, персональные

коммуникационные устройства, устройства облачных вычислений и хранения данных, системы управления, а также кампусы или социальные среды.

Система виртуального обучения – это смоделированная система, которая может выполнять все операции обучения с помощью технологии искусственного интеллекта: запускать и генерировать алгоритмы или системы, разработанные как системы физического обучения, сохранять результаты в Web3, взаимодействовать с аватарами пользователей в реальном мире. Пользователи или роботы в реальном мире могут манипулировать элементами виртуальной системы обучения через Web3, чтобы добиться интеграции физического и виртуального миров в метавселенной.

Разработка метавселенной состоит из трех этапов: клонирование, расширение и интеграция. Детальное представление этапов разработки предлагаемой системы представлено на рис. 1.

Этап клонирования заключается в зеркальном отображении физической системы обучения в систему виртуального обучения. Чтобы предоставить пользователям возможность обучения, соответствующую реальности, в виртуальном мире имеются разные сценарии. Например, класс, библиотека и учебная аудитория расположены в виртуальном пространстве. Виртуальные сценарии должны иметь элементы и атрибуты, что и физический мир, чтобы стимулировать такое же поведение, которое пользователи будут выполнять в физической среде обучения. Конечная цель этапа клонирования – предоставить пользователям возможность получить более удобный, эффективный и знакомый опыт виртуального обучения.

Этап расширения состоит в развитии структуры, созданной на первом этапе. Система виртуального обучения совершенствуется и расширяется за счет функций и сценариев обучения. Например, через виртуальные классы, к которым легче получить бесплатный доступ.

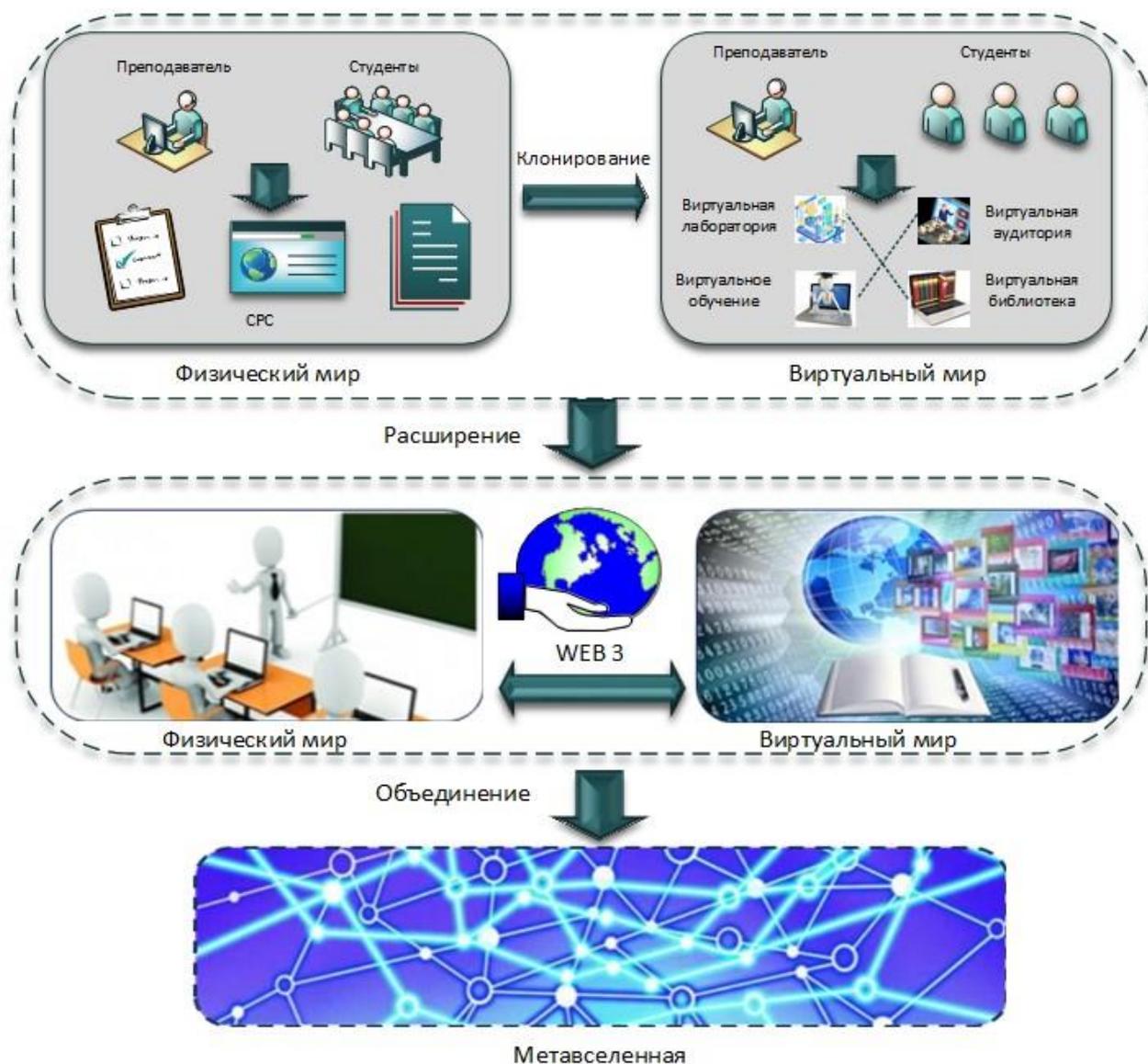


Рис. 1. Этапы разработки метавселенной

Кроме того, виртуальные миры предлагают учащимся возможность самосовершенствоваться. Пользователи участвуют в виртуальных мирах, входя в них для создания аватара. Поведение пользователя может не только менять объекты в виртуальном мире, но и оказывает влияние на пользовательский опыт в реальности. Содержание виртуальной системы обучения будет иметь меньшую стоимость разработки, но при этом будет обладать большей сложностью и возможностями, нежели система физического обучения.

Безопасность и конфиденциальность являются важнейшими факторами, которые следует учитывать при переходе на систему образования в метавселенной:

– угрозы кибербезопасности. Отдельные ресурсы преподавания и обучения берутся из Интернета и поэтому могут быть уязвимы для взлома, вредоносного программного обеспечения и фишинговых атак;

– безопасность обучающихся, например, возможность киберзапугивания или воздействия нежелательного контента;

– конфиденциальность данных. Хранение данных в Интернете может вызывать опасения по поводу конфиденциальности данных. Поэтому крайне важно обеспечить должную защиту данных пользователей, а также максимальную прозрачность сбора и использования данных.

Заключительный этап – интеграция и развертывание интерактивной системы на основе технологии блокчейна. Основной целью является обеспечение безопасности, прозрачности, неизменности, децентрализации и эффективности передачи информации между всеми участвующими сторонами. Для этих целей технология блокчейн предлагает хорошее решение, являясь децентрализованной и распределенной технологией, которая позволяет безопасно записывать и проверять поведение и данные. В метавселенной физическая система собирает данные пользователя и постоянно обновляет модель ученика в блокчейне. Эту модель затем можно получать непосредственно из блокчейна каждый раз, когда преподаватель или система искусственного интеллекта запрашивают соответствующий контент.

Соответственно, предлагаемая структура позволяет решать следующие проблемы:

– безопасность. Поскольку блокчейн децентрализован и распределен, он более безопасен, чем традиционные базы данных, хранящиеся в одном месте. Это затрудняет хакерам внесение нежелательных изменений в пользовательскую информацию и записи, хранящиеся в блокчейне;

– прозрачность. Это означает, что все записи обучения и хранящиеся в них незашифрованные данные видны любому, кто имеет доступ к сети. Это повышает доверие к системе;

– неизменяемость данных. После добавления обучающих данных в блокчейн их нельзя изменить или удалить. Это гарантирует, что информация, хранящаяся в блокчейне, является точной и не может быть подделана;

– эффективность. Использование блокчейна для хранения информации об обучении пользователей потенциально может быть более эффективным, чем традиционные базы данных, поскольку устраняет необходимость в посредниках и может автоматизировать определенные процессы.

Архитектура метавселенной схематично представлена на рис. 2. Здесь два мира взаимодействуют и синхронизируют информацию посредством сетевых соединений на основе Web3, что обеспечивает независимость и взаимную обратную связь.

Физический мир здесь включает сбор информации, коммуникации, компьютеринг и хранение, а также управление и контроль.

Сбор и передача информации. Система обрабатывает и передает всю информацию внутри и за пределами физического мира. Внутренняя передача включает в себя ввод информации пользователей off-chain-Интернет, в то время как внешняя передача охватывает внешнюю аутентификацию пользовательской информации, внешнее обновление структуры системы знаний и данные сенсоров (голосовые записи, жесты, данные о пульсе, отслеживание взгляда, возможно любые другие данные).

Коммуникации, компьютеринг и хранение. Система обеспечивает обмен информацией, обработку и хранение данных. Коммуникационный компонент системы позволяет передавать информацию между устройствами или системами через Интернет. Компьютеринг осуществляет интеллектуальную обработку данных. Компонент хранения использует устройства хранения.

Система управления и контроля физического мира предполагает сотрудничество между преподавателями, администраторами и другими заинтересованными сторонами с целью создания позитивной и эффективной среды обучения для обучаемых.

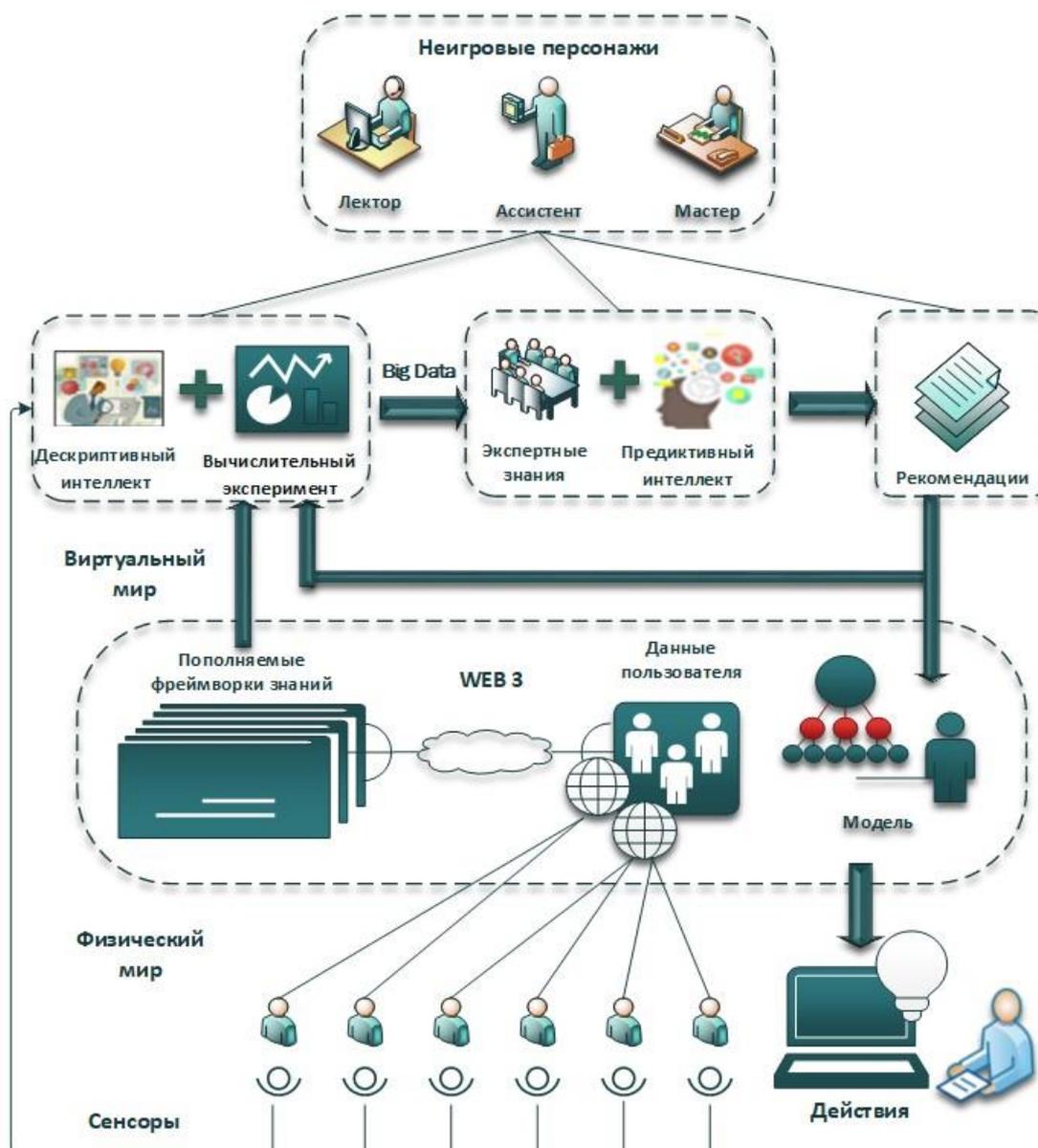


Рис. 2. Архитектура метавселенной

Она также предполагает сочетание технологических инструментов и педагогических стратегий в Интернете, а также эффективное общение и сотрудничество между преподавателями, студентами и другими заинтересованными сторонами. Эта система также отвечает за связь с другими системами в метавселенной, выполняя аутентификацию пользователей в сети, загрузку информации и обновление структуры знаний.

Что касается блокчейна, то цепочка хранит не только обновляемую структуру знаний, но также данные автономных пользователей, включая данные аутентификации и записи взаимодействия. В частности, благодаря

необратимости блокчейна и публичности в цепочке, пользователь может создавать деревья знаний, чтобы обеспечить справедливую сертификацию посредством групповой публичной оценки. По этой причине блокчейн является ключевой технологией, которая позволяет метавселенной работать более открыто, безопасно и эффективно.

Web3 относится к следующему поколению Всемирной паутины, построенному на основе децентрализованных технологий, таких как блокчейн. Технологии Web3 предназначены для того, чтобы позволить пользователям взаимодействовать с приложениями и использовать преимущества безопасности и прозрачности, предлагаемые блокчейном. Блокчейн в этом случае функционирует как децентрализованный метод безопасного хранения данных и записи транзакций. Сеть компьютеров работает совместно, проверяя и записывая транзакции, которые затем добавляются в цепочку блоков, образующих постоянную запись. Блокчейн в метавселенной состоит из 5 уровней, представленных на рис. 3.

Аппаратный уровень включает сеть компьютеров, вносящих вклад в формирование вычислительной мощности блокчейна.

Уровень данных отвечает за хранение данных, записанных в блокчейне. Для эффективного хранения и извлечения данных можно использовать различные структуры данных, такие как связанные списки или хеш-таблицы.

Сетевой уровень включает протоколы, которые используются для соединения узлов в сети и позволяют им взаимодействовать друг с другом.

Консенсусный уровень отвечает за согласованность узлов сети относительно состояния блокчейна. При этом используются различные алгоритмы и протоколы, чтобы гарантировать согласованность узлов с транзакциями, включенными в блокчейн.



Рис. 3. Блокчейн-уровни метавселенной

Уровень приложений является самым высоким уровнем блокчейна, он относится к сервисам, построенным на основе блокчейна, которые позволяют пользователям взаимодействовать с блокчейном и использовать его функции.

В этой многоуровневой структуре основной функцией блокчейна является хранение информации и доступ к ней, а различные уровни блокчейна структурированы таким образом, чтобы обеспечить эффективное и безопасное выполнение этой функции.

Пользователи и виртуальные системы могут получить доступ к данным в блокчейне, как показано на рис. 4.



Рис. 4. Доступ к данным в блокчейне

Смарт-контракты, являющиеся компьютерными протоколами для автоматизации исполнения условий и соглашений в рамках блокчейна, помогут облегчить социальное взаимодействие на основе модели обучения, предоставляемой

виртуальной системой, а также проводить тестирование и эксперименты с различными входными данными или сценариями. В первую очередь контракты предназначены для ввода различных переменных или параметров и предоставления результатов на основе этих входных данных.

Прокомментируем подробнее систему виртуального мира. Она, являясь зеркалом и расширением физического мира, предлагает пользователям платформу для персонализированного обучения и общения. Используя неигровых персонажей с поддержкой технологий искусственного интеллекта, она может создать виртуальную систему обучения, которая вращается вокруг физического мира пользователя и его цифрового аватара, постоянно оптимизируя методы обучения и повышая эффективность.

Неигровые персонажи могут различаться по уровню подготовки. Более опытные персонажи существуют в метавселенной, чтобы создавать для пользователей сложные и динамичные игровые задания, выступают в качестве сложных противников в конкурентных ситуациях, пытаются превзойти пользователей. Менее опытные персонажи «обучаются» медленнее, действуют как равные пользователям, помогая им достичь целей и получить более глубокие знания. Неигровые персонажи обмениваются опытом обучения через блокчейн.

Другим типом неигровых персонажей являются преподаватели, которые могут использоваться для представления информации и объяснений, примеров и практических упражнений, а также обратной связи и подкрепления, чтобы помочь учащимся улучшить свое понимание изучаемого материала. Этот тип персонажа особенно полезно в условиях онлайн- или дистанционного обучения, когда у студентов может не быть доступа к преподавателю-человеку.

Персонажи-преподаватели получают доступ к информации о системах обучения и пользователях-учащихся через блокчейн. Используя алгоритмы машинного обучения для анализа данных об успеваемости учащихся и прогрессе в обучении, они корректируют процесс обучения соответствующим образом. Могут предоставить более или менее сложный материал в зависимости от успехов обучающегося или сосредоточить внимание на конкретных областях, в которых

обучающийся испытывает трудности. Это может помочь гарантировать, что процесс обучения соответствует потребностям и способностям учащихся, а также поможет им прогрессировать быстрее и эффективнее.

Таким образом в метавселенной пользователи-люди взаимодействуют в цифровом мире через устройства виртуальной реальности, а личные данные и данные о деятельности, собранные устройствами, хранятся в блокчейне метавселенной. Здесь же хранится большое количество пользовательской информации и моделей знаний, и очень важно защитить их безопасность и целостность. Достижение целей обучения как в физическом, так и в виртуальном мирах метавселенная, использует технологии искусственного интеллекта для создания различных постоянно обновляемых неигровых персонажей.

При увеличении количества пользователей и обновлении знаний необходима эффективная системная экология, большой объем дискового пространства и вычислительная мощность, способная поддержать стабильную работу системы в пределах управляемой задержки.

#### *4. Заключение.*

Чтобы вывести современное образование на более высокий уровень, предлагается концепция метавселенной, как системы, которая позволяет одновременно учиться и общаться в физическом и виртуальном мирах, значительно повышая эффективность обучения и одновременно обеспечивая безопасные соединения и взаимодействие между пользователями. В работе представлена концепция и архитектура метавселенной, объединяющая технологии искусственного интеллекта, Web3 и технологию блокчейна, которая используется для обеспечения безопасности и прозрачности социальных связей. Представлены основные этапы разработки метавселенной, включающие клонирование, расширение и объединение физических и виртуальных компонентов, а также технологии блокчейна. Через блокчейн, платформа метавселенной позволяет безопасно и надежно собирать, и хранить пользовательские данные, а используя методы искусственного интеллекта, повысить качество обучения.

Новизна подхода заключается в представленной архитектуре метавселенной, в которой реальный и виртуальный мир взаимодействуют и синхронизируют информацию посредством сетевых соединений на основе Web3, что обеспечивает независимость и взаимную обратную связь. Блокчейн хранит обновляемую структуру знаний, а также данные автономных пользователей, включая данные аутентификации и записи взаимодействия.

В России к настоящему времени сложились необходимые предпосылки для реализации метавселенной: направленностью в обучении становятся учебные, социальные, гражданские, профессиональные компетенции, меняется роль преподавателя, который формирует образовательный контент и обеспечивает условия для создания развивающей образовательной среды самостоятельного обучения, изменяются формы и методы на индивидуализацию образовательной траектории, ориентацию на открытые мировые интеллектуальные ресурсы, смещается акцент на самоконтроль и самооценку обучающихся, на оценку качества образования работодателями, профессиональными сообществами.

### *Список литературы*

1. Liang J. [et al.] Student modeling and analysis in adaptive instructional systems. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 59359–72. DOI 10.1109/access.2022.3178744. EDN RUHVEB
2. Hare R., Tang Y. Player modelling and adaptation methods within adaptive serious games. *Int. Conf. on Cyber-Physical Social Intelligence (ICCSI)*. 2021. P. 1–6.
3. Великосельский О.А. Возможности дистанционного обучения с использованием метавселенных / О.А. Великосельский // *Непрерывное образование: проблемы, решения, перспективы*. – СПб.: ЛГУ им А.С. Пушкина, 2022. – С. 97–101. EDN EZIZXA
4. Cui L. [et al.] MetaEdu: a new framework for future education. *Discov. Artif. Intell.* 2023. Vol. 3 (10).
5. Hare R., Tang Y. Hierarchical deep reinforcement learning with experience sharing for metaverse in education. *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. Syst.* 2022. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2022.3227919>. EDN VWUTIO

6. Болл М. Метавселенная. Как она меняет наш мир / М. Болл. – М.: Альпина Паблишер, 2023. – 362 с.
7. Gobert J., Sao P., Li H., Lott C. Intelligent tutoring systems: a history and an example of an it's for science. *Int. encyclopedia of education*. Oxford: Elsevier, 2023. P. 460–70.
8. Georgila K. [et al.] Using reinforcement learning to optimize the policies of an intelligent tutoring system for interpersonal skills training. *Proc. 18th Int. Conf. on Autonomous Agents and MultiAgent Systems*. 2019. P. 737–745.
9. Кравченко Ю.А. Интеллектуальные системы: эволюция моделей и методов приобретения, управления и передачи знаний / Ю.А. Кравченко, В.В. Курейчик, С.И. Родзин. – Чебоксары: Среда, 2023. – 192 с. DOI 10.31483/a-10557. EDN NBZTAX
10. Hooshyar D. [et al.] Development and evaluation of a game-based bayesian intelligent tutoring system for teaching programming. *Jour. Educ. Comput. Res*. 2018. Vol. 56 (6). P. 775–801.
11. Papadimitriou S., Chrysafiadi K., Virvou M. Fuzzeg: fuzzy logic for adaptive scenarios in an educational adventure game. *Multimed. Tools Appl*. 2019. Vol. 78 (22). P. 32023–53.
12. Chui K.T. [et al.] Predicting students' performance with school and family tutoring using generative adversarial network-based deep support vector machine. *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. P. 86745–52.
13. Hershcovits H., Vilenchik D., Gal K. Modeling engagement in self-directed learning systems using principal component analysis. *IEEE Trans. Learn Technol*. 2020. Vol. 13 (1). P. 164–71.
14. Bunic D., Jugo I., Kovacic B. Analysis of clustering algorithms for group discovery in a web-based intelligent tutoring system. *Int. Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*. 2019. P. 759–765.
15. Fleming T. [et al.] 10.05-Serious games and gamification in clinical psychology // *Comprehensive clinical psychology*. Oxford: Elsevier. 2022. P. 77–90.

- 
16. Родзина О.Н. Проблемно-ориентированные алгоритмы мягких вычислений / О.Н. Родзина. – Чебоксары: Среда, 2020. – 96 с.
  17. Gu J. [et al.] A metaverse-based teaching building evacuation training system with deep reinforcement learning. *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern: Syst.* 2023. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2022.3231299>. EDN DBPFNP
  18. Родзин С.И. Теория принятия решений / С.И. Родзин. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 336 с. EDN YERVWL
  19. Родзин С.И. Машинное обучение: метаэвристики дифференциально-векторного движения / С.И. Родзин, О.Н. Родзина. – Чебоксары: Среда, 2024. – 140 с. DOI 10.31483/a-10610. EDN UIKPSL
  20. Tlili A. [et al.] Is metaverse in education a blessing or a curse: a combined content and bibliometric analysis. *Smart Learn. Environ.* 2022. Vol. 9(1). P. 1–31. DOI 10.1186/s40561-022-00205-x. EDN EBGRIO
  21. Wang M., Yu H., Bell Z., Chu X. Constructing an edu-metaverse ecosystem: a new and innovative framework. *IEEE Trans. Learn. Technol.* 2022. Vol. 15 (6). P. 685–96.
  22. Shen T. [et al.] Virtual classroom: a lecturer-centered consumer-grade immersive teaching system in cyber-physical-social space. *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. Syst.* 2022. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2022.3228270>. EDN YZYRKI
  23. Jeon J.H. A study on education utilizing metaverse for effective communication in a convergence subject. *Int. Jour. Internet Broadcast Commun.* 2021. Vol. 13 (4). P. 129–34.

---

**Родзин Сергей Иванович** – канд. техн. наук, профессор кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Таганрог, Россия.

**Бова Виктория Викторовна** – доцент кафедры систем автоматизированного проектирования ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Таганрог, Россия.

