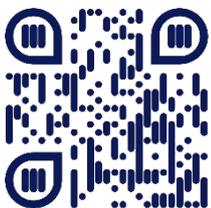


Тема статьи:

# Анализ успешности внедрения метавселенной в строительные отрасли. Моделирование структурными уравнениями



## Абстракт

Применение технологии метавселенной в области гражданского строительства имеет потенциал для повышения эффективности и точности проектов. Тем не менее, повсеместное внедрение и эффективная интеграция метавселенных зависят от ряда важных факторов. В этом исследовании исследуются критические факторы, лежащие в основе успешного внедрения технологии метавселенной в бизнес-контексте. В этом исследовании используется комплексный смешанный метод, состоящий из исследовательского факторного анализа (EFA) и моделирования структурными уравнениями (SEM) для изучения ответов на опросы, собранных от опытных профессионалов в области архитектуры, проектирования и строительства (AEC) в Бангладеш. В таких областях, как коммуникация и совместная работа, визуализация проекта, мониторинг и техническое обслуживание, строительная отрасль добилась невероятных успехов. По мере того, как становятся обязательными для управленческого рассмотрения стратегические инвестиции в ресурсы, целевые инициативы по обучению, кампании по повышению осведомленности и разумное развертывание экономически эффективных и эффективных решений на основе метавселенной, будущие исследования должны включать больший размер выборки и оценку долгосрочных эффектов в течение длительных периодов времени. Ключ к раскрытию всего потенциала метавселенной в архитектурной, инженерной и строительной отраслях заключается в устранении этих выявленных факторов успеха, тем самым обеспечивая улучшенные результаты проектов и повышенную эффективность в созданной среде. Ожидается, что сочетание этих инициатив проложит путь к новой эре в архитектурно-строительном ландшафте.

---

## 1. Введение

Строительная отрасль всегда была в авангарде технологических инноваций, внедряя инновации, повышающие производительность, эффективность и совместную работу. В последние годы появилась новая концепция, способная произвести революцию в планировании, проектировании и реализации строительных проектов: метавселенная [1, 2]. Метавселенная, пространство виртуальной реальности, которое позволяет пользователям взаимодействовать с компьютерной средой, предлагает множество преимуществ и возможностей для строительной отрасли. Понятие метавселенной зародилось в научной фантастике, и это понятие все больше становится практической реальностью. Конвергенция технологических достижений в области виртуальной реальности, дополненной реальности, искусственного интеллекта и подключения к Интернету проложила путь к появлению метавселенной [3, 4]. Он предоставляет пользователям многомерную, иммерсивную среду, в которой они могут взаимодействовать с цифровыми представлениями физического мира, способствуя беспрецедентной совместной работе, визуализации и интеграции данных [5].

Смена парадигмы произошла в сфере архитектуры, проектирования и строительства (AEC) в результате внедрения технологии метавселенной [6–8]. Эта технология предлагает широкий спектр практических применений, которые могут изменить способ выполнения традиционных процедур. Одним из таких приложений является архитектурное проектирование и визуализация, которое позволяет пользователям платформ метавселенной, оснащенных возможностями виртуальной реальности (VR) и дополненной реальности (AR), полностью погрузиться в сложные пространственные конструкции [6]. Этот иммерсивный опыт не только помогает улучшить эстетику и

функциональность проектов, но и стимулирует совместное принятие решений между заинтересованными сторонами, обеспечивая ощутимый предварительный просмотр конечного результата. Это достигается путем предоставления взгляда на то, как в конечном итоге получится проект [9].

Кроме того, технология, известная как метавселенная, позволяет проводить виртуальные проходы. Это дает заказчикам, инвесторам и другим заинтересованным сторонам проекта возможность виртуально изучить потенциальные планировки еще до начала строительства. Такое динамичное участие помогает выработать общее видение и снижает неопределенность, что в конечном итоге приводит к процессу принятия решений, который лучше информирован на ранних этапах жизненного цикла проекта. В области совместного планирования и координации проектов платформы метавселенной предоставляют многопрофильным командам безопасную гавань в цифровой среде, в которой они могут работать вместе в сотрудничестве и в режиме реального времени [10, 11]. Теперь архитекторы, инженеры, подрядчики и другие заинтересованные стороны могут легко взаимодействовать, оценивать планы и выявлять потенциальные споры, что в конечном итоге приведет к более унифицированным проектам и более эффективному исполнению.

Строительная отрасль, которая часто сталкивается с такими препятствиями, как перерасход средств, задержки проектов и нарушения связи, может значительно выиграть от внедрения метавселенной. Используя технологии виртуальной и дополненной реальности, заинтересованные стороны в процессе строительства, включая архитекторов, инженеров, подрядчиков и клиентов, могут беспрепятственно сотрудничать, визуализировать сложные проекты, а также обнаруживать и разрешать конфликты на ранней стадии [12, 13].

На протяжении всего жизненного цикла строительства метавселенная предлагает множество применений и преимуществ. Это позволяет заинтересованным сторонам ознакомиться с виртуальными обходами зданий до начала строительства, что позволяет вносить изменения в проект в режиме реального времени и повышать удовлетворенность клиентов. Кроме того, метавселенная облегчает включение данных информационного моделирования зданий (BIM), что позволяет эффективно обнаруживать коллизии, 4D-последовательность строительства и отслеживать ход работ в режиме реального времени [14, 15]. Кроме того, она способствует обучению и моделированию техники безопасности, тем самым снижая количество несчастных случаев на рабочей площадке и повышая производительность труда. Метавселенная также может быть использована для послестроительных операций и управления объектами, что позволяет владельцам виртуально исследовать и управлять своими активами. Несмотря на то, что метавселенная обладает значительным потенциалом, она полна препятствий. Внедрение новых технологий часто требует значительных затрат, и метавселенная не является исключением [16, 17]. Кроме того, существуют опасения по поводу конфиденциальности данных, функциональной совместимости и кривой обучения, связанной с внедрением и интеграцией этих технологий в существующие рабочие процессы. Однако эти препятствия открывают возможности для инноваций, сотрудничества и создания новых бизнес-моделей в строительной отрасли [18].

Технология метавселенной в строительстве может изменить архитектурно-строительную отрасль. Эта новая технология может повысить эффективность проекта, совместную работу и визуализацию дизайна. Тем не менее, это исследование должно определить успех внедрения технологии метавселенной. Это исследование оценивает

«Успешность внедрения Метавселенной» по нескольким важным параметрам [19, 20]. Иммерсивные среды метавселенной позволяют заинтересованным сторонам проекта лучше общаться и сотрудничать. Технология метавселенной расширяет возможности исследования и совершенствования архитектурных и инженерных идей, делая визуализацию дизайна успешной. Внедрение метавселенной улучшает мониторинг и обслуживание за счет использования данных и аналитики в режиме реального времени для обеспечения прогресса и устойчивости проекта.

В этом исследовании рассматривается, что делает технологию метавселенной успешной в архитектуре и строительстве. Мы изучаем фундаментальные переменные и их синергетическое влияние на результаты проекта. Мы стремимся предложить полную основу для принятия решений, распределения ресурсов и стратегического планирования для внедрения метавселенной в секторе архитектурно-строительного проектирования, находя эти факторы успеха. В этом исследовании исследуется сложная интеграция технологии метавселенной в архитектурно-строительную отрасль, выявляя факторы ее успеха. Разобрав «Успех внедрения метавселенной», мы можем лучше понять, как эта технология может повысить эффективность проекта и результаты в застроенной среде.

Чтобы всесторонне понять потенциал успеха метавселенной в строительной отрасли, мы рассмотрим успешные внедрения и кейсы. Эти реальные примеры продемонстрируют, как метавселенная используется для улучшения совместной работы и результатов проектов, а также повышения эффективности. Внедрение метавселенной в строительной отрасли представляет собой трансформацию парадигмы в планировании, проектировании и реализации проектов. Потенциальные преимущества, такие как расширенная совместная работа, визуализация, повышенная производительность и снижение затрат, делают его привлекательным предложением для заинтересованных сторон отрасли [21, 22]. Однако для реализации всего потенциала метавселенной необходимо учитывать инвестиции, функциональную совместимость и повышение квалификации рабочей силы. Этот документ предоставит профессионалам в области строительства, исследователям и политикам, заинтересованным в использовании модели метеорологии, ценную информацию и рекомендации на основе изучения успешных внедрений и тематических исследований [23].

Несмотря на растущий интерес к технологии метавселенной и ее потенциальные преимущества для архитектурно-строительной отрасли, существует нехватка исчерпывающих исследований, в которых систематически изучались бы различные факторы успеха, необходимые для ее эффективного внедрения. Предыдущие исследования часто сосредотачиваются на конкретных аспектах, не предоставляя всестороннего представления о факторах, влияющих на повсеместное внедрение и успех технологии метавселенной в архитектурно-строительной отрасли [9, 24].

Несмотря на то, что внедрение технологии метавселенной является глобальным явлением, ее реализация может варьироваться в зависимости от региона из-за культурных, экономических и нормативных факторов, которые уникальны для каждого региона. В существующей литературе, как правило, доминируют исследования, проведенные в развитых странах, что оставляет пробел в исследованиях в отношении уникальных проблем и возможностей, с которыми сталкиваются развивающиеся регионы, такие как Бангладеш [7, 22, 25]. Изучая сектор архитектурно-строительной недвижимости Бангладеш, наше исследование направлено на преодоление этого

разрыва, предоставляя информацию, которая может помочь в разработке стратегий успешной интеграции метавселенной в аналогичных контекстах.

Предыдущим исследованиям о влиянии технологии метавселенной на архитектурно-строительную отрасль часто не хватало исчерпывающей и строгой методологии [26, 27]. Во многих исследованиях используются только качественные или количественные методы, игнорируются преимущества смешанного подхода. Сочетая исследовательский факторный анализ (EFA) и моделирование структурными уравнениями (SEM), наше исследование направлено на устранение этого методологического пробела путем более надежного и детального изучения взаимосвязей между различными детерминантами успеха.

Хотя предварительные исследования демонстрируют потенциальные преимущества технологии метавселенной в строительной отрасли, требуется более глубокое понимание ее долгосрочных эффектов и устойчивости [28–30]. Текущие исследования долгосрочного влияния интеграции метавселенной на результаты проектов и экологическую устойчивость в антропогенной среде недостаточны.

Явно указывая на эти пробелы в исследованиях, мы надеемся предоставить убедительное обоснование нашему исследованию и его вкладу в существующий корпус знаний. Мы ценим предложения рецензента по повышению качества и эффективности нашей работы и приветствуем любые дополнительные предложения по улучшению.

В этой статье мы намерены исследовать внедрение метавселенной в строительную отрасль и ее потенциал успеха, изучая различные применения метавселенной и обсуждая ее влияние на различные фазы строительного процесса, проводя количественные и качественные интервью, чтобы продемонстрировать и подчеркнуть важность метавселенной в строительной отрасли [31]. Понимая потенциал метавселенной и ее последствия для строительной отрасли, мы можем разработать новые подходы для улучшения результатов проектов и достижения более высоких уровней эффективности и устойчивости.

В этой статье используется комплексная стратегия моделирования структурными уравнениями (SEM) с использованием программного обеспечения SmartPLS 4. SEM является мощным статистическим методом, который позволяет исследователям исследовать сложные взаимосвязи между несколькими переменными и латентными конструктами [32, 33]. Используя SmartPLS 4, это исследование превосходит традиционные методы статистического анализа и обеспечивает надежную основу для понимания внедрения и успеха метавселенной в строительной отрасли. SEM повышает надежность и валидность результатов, позволяя более тщательно понять фундаментальные факторы, влияющие на принятие и успех метавселенной. Еще одной отличительной характеристикой этого исследования является акцент на применении и значении метавселенной в строительной отрасли Бангладеш [34, 35]. Несмотря на то, что потенциальные преимущества метавселенной широко обсуждаются в глобальном контексте, лишь немногие исследования подчеркивают ее актуальность и последствия для строительной отрасли Бангладеш. Концентрируясь на этом регионе, статья освещает отличительные проблемы, возможности и предполагаемые факторы успеха, связанные с внедрением метавселенной в строительной отрасли Бангладеш. Такая региональная перспектива добавляет оригинальности и обогащает литературу, предоставляя информацию и рекомендации по Бангладеш [36, 37].

Это исследование вносит свой вклад в существующий корпус знаний о внедрении и успехе метавселенной в строительстве, сочетая методологические достижения использования SEM с SmartPLS 4 и региональную концентрацию на строительной отрасли в Бангладеш. Результаты и выводы этого исследования будут полезны не только исследователям и практикам в области управления строительством. Тем не менее, они также обеспечат основу для политиков и заинтересованных сторон отрасли для принятия обоснованных решений относительно включения метавселенной в строительную практику в Бангладеш:(1)Холистические детерминанты успеха. Наше исследование уникально определяет и анализирует комплексный набор детерминант успеха, имеющих решающее значение для эффективного внедрения технологии метавселенной в архитектурно-строительном секторе. Такой целостный подход позволяет получить более полное представление о факторах, способствующих успешной интеграции [12, 13, 38].(2)Смешанный подход. В данном исследовании используется надежная методология смешанного метода, сочетающая в себе поисковый факторный анализ (EFA) и моделирование структурными уравнениями (SEM). Эта инновационная методологическая основа позволяет более детально исследовать взаимосвязи и влияния между идентифицированными детерминантами успеха [37, 37, 39].(3)Бангладеш Сектор АЭС в фокусе. Наше исследование сужает фокус на секторе архитектурно-строительного строительства в Бангладеш, предоставляя ценную информацию, специфичную для этого контекста. Эта региональная перспектива способствует более глубокому пониманию того, как технология метавселенной может быть оптимизирована в конкретной культурной и промышленной среде.

Последующие разделы этой статьи организованы следующим образом: Секция 2 содержит всесторонний обзор литературы, углубляясь в текущее состояние внедрения технологии метавселенной в архитектурно-строительной отрасли и выделяя недостатки исследований. Секция 3 Описывается методология исследования, в том числе процедура сбора данных, смешанный подход и используемые аналитические методы. Секция 4 представлены эмпирические результаты и обсуждаются выявленные факторы успеха и их последствия для архитектурно-строительной отрасли Бангладеш. Секция 5 Представлен углубленный анализ полученных результатов, их размещение в контексте более широкой литературы и их практическое применение. Секция 6 В заключение приводится краткое резюме вклада в исследование, обсуждение его ограничений и предложения по будущим исследованиям.

---

## **2. Идентификация факторов успеха**

По мере того, как строительная отрасль вступает в эпоху цифровой трансформации, внедрение инновационных технологий, таких как метавселенная, может изменить традиционные методы работы и способствовать успеху. Метавселенная, пространство виртуальной реальности, где пользователи взаимодействуют с компьютерной средой, предоставляет строительной отрасли множество возможностей для улучшения совместной работы, визуализации и результатов проектов. Чтобы в полной мере реализовать преимущества метавселенной, необходимо выявить факторы, способствующие ее успешной реализации. В этой статье мы намерены выявить и исследовать наиболее важные факторы успеха метавселенной в строительной отрасли [37].

Надежная технологическая инфраструктура необходима для успешного внедрения метавселенной. Она включает в себя высокоскоростное подключение к Интернету,

оборудование, способное запускать приложения виртуальной и дополненной реальности, и масштабируемые ресурсы облачных вычислений. Достаточная технологическая инфраструктура обеспечивает бесшовное и бесперебойное взаимодействие в метавселенной, позволяя заинтересованным сторонам эффективно получать доступ, анализировать и манипулировать данными проекта [40].

Эффективная коммуникация и сотрудничество являются важнейшими факторами успеха метавселенной в строительной отрасли. Метавселенная позволяет заинтересованным сторонам участвовать в обсуждениях в режиме реального времени, сообщать об обновлениях проекта и беспрепятственно обмениваться информацией. Виртуальные встречи, общие рабочие станции и обмен мгновенными сообщениями способствуют эффективному общению, способствуя сотрудничеству между членами команды независимо от их физического местоположения [28, 41]. Метавселенная улучшает процесс принятия решений, облегчает рабочие процессы и способствует взаимодействию между заинтересованными сторонами, устраняя коммуникационные барьеры.

На протяжении всего жизненного цикла строительства метавселенная предоставляет ценные инструменты мониторинга и обслуживания проекта. Включение данных датчиков в метавселенную позволяет в режиме реального времени отслеживать ход строительства, использование оборудования и распределение ресурсов. Это позволяет заинтересованным сторонам выявлять потенциальные узкие места, отслеживать этапы проекта и своевременно вносить коррективы для обеспечения успеха [42]. Кроме того, метавселенная может облегчить удаленное управление активами, позволяя управляющим объектами эффективно контролировать и обслуживать здания, тем самым снижая эксплуатационные расходы и продлевая жизненный цикл построенных активов.

В строительной отрасли возможности проектирования и визуализации являются основополагающими факторами успеха метавселенной. Метавселенная предоставляет инструменты иммерсивного 3D-моделирования и визуализации, позволяя заинтересованным сторонам создавать, изменять и визуализировать архитектурные проекты в виртуальной среде, которая является одновременно реалистичной и иммерсивной [24, 43]. Это облегчает понимание и оценку проектных решений, выявление проектных дефектов или конфликтов, а также итеративные процессы проектирования. Возможность визуализации проектов в метавселенной повышает вовлеченность заинтересованных сторон, улучшает координацию проектирования и снижает вероятность дорогостоящих ошибок при проектировании во время строительства [25, 44].

Успех метавселенной в строительной отрасли зависит от принятия заинтересованными сторонами и положительного пользовательского опыта. Метавселенная должна быть проста в использовании, понимании и навигации для всех заинтересованных сторон, независимо от их технических знаний [29, 45]. Уделяя первостепенное внимание пользовательскому опыту и обеспечивая бесшовный интерфейс, метавселенная становится инструментом, который заинтересованные стороны стремятся внедрить и активно использовать, тем самым способствуя успеху проекта.

Эффективное управление изменениями и согласование действий заинтересованных сторон необходимы для успешного развертывания метавселенной в строительной

отрасли. Заинтересованные стороны разных уровней, включая менеджеров проектов, администраторов и сотрудников, должны понимать ценностное предложение метавселенной и согласовывать его с целями проекта [46]. Инициативы по управлению изменениями, такие как учебные программы, семинары и четкие планы коммуникации, должны быть реализованы для борьбы с сопротивлением изменениям и обеспечения беспрепятственного внедрения метавселенной. За счет вовлечения и согласования заинтересованных сторон вероятность успешного внедрения и включения метавселенной значительно повышается [47].

Масштабируемость и адаптивность являются важными факторами успеха метавселенной в строительной отрасли. Метавселенная должна быть способна облегчить строительные проекты различного масштаба и степени сложности. Платформа метавселенной должна быть масштабируемой, позволяющей интегрировать несколько проектов и справляться с растущими объемами данных по мере продвижения проектов [48, 49]. Кроме того, метавселенная должна быть достаточно адаптируемой, чтобы приспосабливаться к меняющимся требованиям проекта и включать новые технологии и функции. В постоянно меняющемся строительном ландшафте масштабируемость и адаптивность гарантируют долгосрочную жизнеспособность и актуальность метавселенной [50].

Внедрение метавселенной в строительную отрасль должно учитывать нормативные и правовые аспекты. Чтобы обеспечить соответствие требованиям и защитить интересы заинтересованных сторон, необходимо урегулировать права интеллектуальной собственности, право собственности на данные, правила конфиденциальности и законы о кибербезопасности [27, 51]. Использование и обмен данными в метавселенной должны регулироваться прозрачными, заслуживающими доверия и соответствующими законодательству руководящими принципами и рамками. При соблюдении нормативно-правовых норм заинтересованные стороны могут с уверенностью принять метавселенную, снижая при этом потенциальные риски и трудности [11, 52].

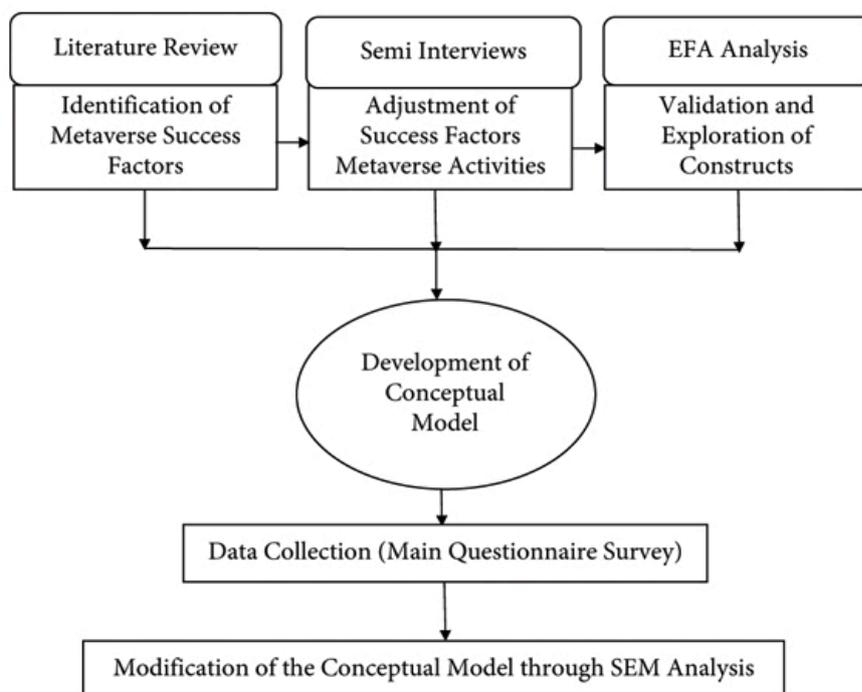
В строительной отрасли непрерывные циклы разработки и обратной связи являются важнейшими факторами успеха метавселенной. Регулярная оценка, оценка и вклад заинтересованных сторон помогают выявлять возможности для развития, устранять любые недостатки и совершенствовать стратегию внедрения метавселенной [30]. Каналы обратной связи также способствуют итеративной разработке и совершенствованию платформы метавселенной, гарантируя, что она соответствует меняющимся требованиям и ожиданиям строительной отрасли. Активно запрашивая обратную связь и внедряя культуру непрерывного совершенствования, заинтересованные стороны строительных проектов могут максимизировать ценность и влияние метавселенной [38, 53].

Идентификация и понимание факторов успеха внедрения метавселенной в строительной отрасли обеспечивает прочную основу для ее эффективного внедрения и интеграции. Факторы успеха, обсуждаемые в этой рукописи, такие как согласование интересов заинтересованных сторон, управление изменениями, масштабируемость и гибкость, нормативные и правовые аспекты, непрерывное совершенствование и циклы обратной связи, способствуют созданию комплексной структуры успеха метавселенной.

---

### 3. Методология

Данное исследование включает в себя качественные интервью и количественное анкетирование, а областью исследования является строительная отрасль Бангладеш. Цифра 1 указывает на всю методологию исследования с ее пошаговым объяснением. В ходе нашего исследования были собраны данные от профессионалов архитектурно-строительной отрасли Бангладеш с помощью анкет и структурированных интервью. Целенаправленная выборка была нацелена на людей, обладающих значительным опытом и знаниями в области интеграции технологий метавселенной. Наша выборка была диверсифицирована, что позволило более полно изучить тему исследования. Сложная исследовательская ситуация обусловила необходимость целенаправленной выборки. Целенаправленная выборка была выбрана из-за динамичного характера внедрения технологии метавселенной в архитектурно-строительном проекте и небольшого числа специалистов, обладающих обширной экспертизой в этой области. Мы намеренно отобрали участников с глубокими знаниями, чтобы предоставить обширные и актуальные данные. В нашем качественном исследовании, направленном на поиск тонких мнений отраслевых экспертов, используется целенаправленная выборка. Мы максимально повысили точность и глубину данных, сосредоточившись на экспертах по внедрению технологии метавселенной [24, 54]. Мы использовали опросы и структурированные интервью для проведения методологической триангуляции и улучшения наших результатов. В ходе опроса были получены количественные данные о тенденциях и закономерностях, а структурированные интервью позволили участникам поделиться своими взглядами и опытом. Наш подход использует целенаправленную выборку, анкетирование и структурированные интервью, чтобы полностью охватить внедрение технологий метавселенной в архитектурно-строительной отрасли [18, 43]. Исследовательская обстановка и необходимость получения значимой информации от небольшой группы специалистов поддерживают этот метод.



Блок-схема исследования.

В нашем исследовании используется интегрированный смешанный подход, объединяющий исследовательский факторный анализ (EFA) и моделирование структурными уравнениями (SEM). Этот комбинированный метод позволяет более тщательно исследовать взаимосвязи между выявленными факторами успеха. Комбинируя качественные данные, полученные в рамках ОДВ, с количественным моделированием, полученным с помощью SEM, мы обеспечиваем всестороннее понимание сложной динамики, происходящей в процессе [19, 36].

Признавая влияние культурных и контекстуальных факторов на принятие метавселенной, наша методология учитывает отличительные характеристики бангладешского сектора АЕС. Эта чувствительность повышает применимость наших выводов к конкретному культурному и промышленному ландшафту, тем самым способствуя принятию более обоснованных решений в региональном контексте.

Наша методология включает в себя оценку долгосрочных эффектов и устойчивости интеграции метавселенной, выходя за рамки сиюминутных результатов. Оценивая долгосрочные последствия для результатов проекта и экологической устойчивости, мы расширяем временные рамки нашего анализа и даем представление о долгосрочных преимуществах технологии метавселенной.

Наша исследовательская методология выходит за рамки теоретического исследования, устанавливая основу для практических выводов. Эта структура преобразует результаты исследований в практические рекомендации для практиков отрасли, позволяя им внедрять технологические решения метавселенной на основе обоснованных суждений.

### 3.1. Качественные настройки факторов

Первоначально факторы успеха строительства метавселенной были выявлены с помощью всестороннего обзора литературы. Этот анализ включал научные статьи, доклады на конференциях, отраслевые отчеты и другие соответствующие ресурсы. Данные обзора литературы послужили основой для осмысления существующих факторов успеха, связанных с внедрением метавселенной в строительную отрасль. На основе этой информации был разработан предварительный список факторов успеха строительной отрасли Бангладеш [20]. Интервью были направлены на то, чтобы получить от этих экспертов идеи, точки зрения и рекомендации относительно выявленных факторов успеха. Участникам было предложено предоставить обратную связь о предварительных факторах успеха и предложить дополнительные идеи, основанные на их практических знаниях и реальном опыте во время собеседований [55, 56]. В ходе обсуждений были затронуты многочисленные аспекты внедрения метавселенной в строительство, включая препятствия, возможности, предполагаемые выгоды и соображения, характерные для Бангладеш. Отзывы и предложения, предоставленные отраслевыми экспертами, сыграли важную роль в модификации и уточнении первоначально выявленных факторов успеха. При анализе собранных данных мы применили двухэтапный подход, сочетающий исследовательский факторный анализ (EFA) с последующим моделированием структурными уравнениями (SEM). Этот методологический выбор был продиктован нашими исследовательскими целями, которые включают в себя выявление скрытых конструкторов и взаимосвязей между

различными детерминантами успеха в контексте внедрения технологии метавселенной в секторе архитектуры, проектирования и строительства (АЕС).

### 3.2. Исследовательский факторный анализ

Для выявления и анализа фундаментальных факторов, влияющих на успех метавселенной в строительной отрасли, был проведен поисковый факторный анализ (ОДВ). Цель ОДВ состояла в том, чтобы упростить данные и выявить скрытые переменные, которые обуславливают наблюдаемые закономерности. Данные были собраны в ходе опросов, проведенных среди профессионалов строительной отрасли и заинтересованных сторон, обладающих знаниями или опытом, связанными с метавселенной [54]. Анкета опроса включала вопросы, предназначенные для измерения различных факторов, которые, как считается, влияют на успех метавселенной, включая технологическую готовность, организационную культуру, взаимодействие с заинтересованными сторонами, обучение и образование, а также совместимость данных [26, 57]. По шкале Лайкерта участникам было предложено оценить свой уровень согласия или несогласия с каждым пунктом.

Собранные данные ответов на обследование затем были подвергнуты ОДВ. Статистическое программное обеспечение использовалось для изучения взаимосвязей между наблюдаемыми переменными и выявления факторов, лежащих в основе вариаций данных. Для экстракции был использован анализ главных компонент, а для улучшения интерпретируемости была использована процедура вращения варимакс. В рамках ОДВ было выявлено несколько основополагающих факторов [7]. Эти аспекты способствовали успешному внедрению метавселенной в строительной отрасли. Каждый фактор характеризовался набором переменных с высокими факторными нагрузками, что указывает на их тесную связь с базовым фактором. Факторные нагрузки представляли собой интенсивность и направление связи каждой переменной с соответствующим фактором.

Результаты ОДВ позволили получить ценную информацию об основных факторах, влияющих на успех метавселенной в строительной отрасли. Эти элементы обеспечили более глубокое понимание ключевых аспектов, которые следует учитывать при реализации и управлении проектами метавселенной. Результаты ОДВ помогут в принятии решений, расстановке приоритетов ресурсов и разработке стратегий, направленных на повышение успешности внедрения метавселенной в строительной отрасли. Первоначальное применение исследовательского факторного анализа (ОДВ) основано на нашей цели определить основные измерения и взаимосвязи между наблюдаемыми переменными. ОДВ позволяет нам выявлять скрытые конструкты, которые могут быть недоступны непосредственному наблюдению, тем самым обеспечивая более глубокое понимание сложных факторов, способствующих успеху внедрения технологии метавселенной. Такой подход, основанный на данных, гарантирует, что наш анализ будет основан на закономерностях, присущих самим данным.

### 3.3. Моделирование структурными уравнениями

Модель структурных уравнений (SEM) позволяет нам одновременно оценивать прямое и косвенное влияние различных факторов успеха, предоставляя нам доскональное знание того, как эти аспекты взаимодействуют друг с другом и

способствуют общему успеху интеграции технологии метавселенной. Метод SEM позволяет проводить тщательную валидацию модели, что гарантирует, что наши выводы основаны на хорошем статистическом анализе и обеспечивают высокую степень уверенности в надежности и валидности наших результатов. Другими словами, мы можем быть уверены в точности и надежности наших выводов [16, 22, 25]. Моделирование структурными уравнениями (SEM) с учетом погрешности измерений позволяет интегрировать погрешность измерений в анализ, что повышает качество наших оценок и дает более точную картину связей между скрытыми компонентами. Адаптивность SEM позволяет проводить как поисковый, так и подтверждающий анализ. Это не только облегчает распознавание новых закономерностей, но и подтверждает правильность ранее сложившихся теоретических построений. В данном исследовании используется моделирование структурными уравнениями (SEM) для оценки структурных взаимосвязей между идентифицированными латентными конструктами. SEM позволяет нам проверять и количественно оценивать сложные взаимозависимости между детерминантами успеха, тем самым выясняя прямые и косвенные эффекты, которые способствуют общему успеху внедрения метавселенной [7, 50, 55]. Этот аналитический метод согласуется с нашей целью предложить целостное представление о том, как эти детерминанты в совокупности влияют на результаты проектов в секторе архитектурно-строительного проектирования.

Интегрируя ОДВ и СЭМ, мы получаем комплексный анализ, который сочетает в себе исследовательские идеи факторного анализа с подтверждающей силой моделирования структурными уравнениями. Этот подход повышает надежность наших выводов, выявляя скрытые конструкты и количественно оценивая их взаимосвязи, и все это в контексте внедрения технологии метавселенной.

Обоснование этого двухэтапного аналитического подхода заключается в его способности охватить всю сложность исследовательской области, обеспечивая при этом строгую основу для получения значимых выводов. Мы считаем, что эта методология органично согласуется с целями нашего исследования и многогранным характером предмета исследования.

Мы благодарны рецензенту за его руководство, которое значительно повысило прозрачность, глубину и методологическую строгость нашего исследования. Мы по-прежнему открыты для любых дальнейших предложений или идей, которые могли бы продолжать повышать качество и строгость наших исследований.

### 3.4. Анализ алгоритма PLS

В данном исследовании решающее значение имеет применение метода моделирования структурных уравнений в частных производных (PLS-SEM). PLS-SEM — это надежный и адаптируемый метод анализа, который подходит для сложных моделей и дает ценную информацию о взаимосвязях и взаимодействиях между идентифицированными факторами, влияющими на успех метавселенной в строительной отрасли. PLS-SEM хорошо подходит для поисковых исследований, особенно при понимании взаимосвязей между латентными переменными [58, 59]. Это делает его идеальным инструментом для изучения многомерной природы факторов, влияющих на успех метавселенной, позволяя тщательно изучить их взаимозависимость. Кроме того, PLS-SEM удобен для работы с небольшими объемами выборки и ненормальными распределениями данных, что особенно актуально в контексте данного

исследования [39, 60]. В этом исследовании используется PLS-SEM для понимания сложных взаимосвязей между факторами, влияющими на успех метавселенной в строительной отрасли, тем самым внося свой вклад в объем знаний в этой области.

### 3.5. Конвергентная валидность

Конвергентная валидность оценивает степень, в которой несколько измерений одного и того же конструкта дают сопоставимые или согласованные результаты. В рамках исследования факторов, влияющих на успех метавселенной в строительной отрасли, был проведен тест конвергентной валидности для оценки согласованности и надежности элементов измерения, используемых для оценки скрытых переменных.

AVE измеряет дисперсию, фиксируемую латентной переменной по отношению к погрешности измерения. Значение AVE более 0,5 демонстрирует адекватную конвергентную валидность. Составная надежность (CR) оценивает согласованность и надежность скрытой переменной. Значение CR больше 0,7 указывает на отличную надежность. Факторные нагрузки показывают интенсивность связи каждого измеряемого элемента с соответствующей ему латентной переменной [54, 58]. Чем выше факторные нагрузки, тем больше конвергентная валидность. Изучение этих статистических показателей для каждой латентной переменной в модели было необходимо для проверки конвергентной валидности. Если значения AVE были больше 0,5, значения CR были больше 0,70, а факторные нагрузки были значимыми и относительно высокими, это указывало на то, что латентные переменные обладали хорошей конвергентной валидностью. Данные ответов на опрос были проанализированы с использованием соответствующего статистического программного обеспечения для проведения теста. Для каждой латентной переменной были рассчитаны нагрузки AVE, CR и факторные нагрузки [26, 57]. Результаты были впоследствии интерпретированы для установления конвергентной валидности элементов измерений и латентных переменных.

Это исследование гарантировало надежность и согласованность элементов измерения, используемых для оценки факторов, влияющих на успех метавселенной в строительной отрасли, с помощью теста на конвергентную валидность. Это помогает установить уверенность в достоверности измерительного прибора и обеспечивает прочную основу для последующего анализа и интерпретации результатов.

### 3.6. Дискриминантная валидность

Дискриминантная валидность оценивает степень, в которой в исследовании существуют различные и непересекающиеся конструкты. В контексте данного исследования факторов, влияющих на успех метавселенной в строительной отрасли, для оценки дискриминантной валидности использовались критерий Форнелла–Ларкера, перекрестные нагрузки и коэффициент гетеротрейт-монотрейт (HTMT) [7, 58].

Согласно критерию Форнелла-Ларкера, дискриминантная валидность устанавливается, когда квадратный корень конкретного конструкта из извлеченной средней дисперсии (AVE) больше, чем его корреляция со всеми другими конструктами. Этот критерий гарантирует, что конструкт объясняет больше дисперсии внутри себя, чем с другими конструктами [39, 59].

Перекрестные нагрузки измеряют степень, в которой элемент преимущественно нагружается на свою собственную родительскую конструкцию по сравнению с другими конструкциями в исследовании. Нагрузки элемента на его основную конструкцию должны быть больше, чем на другие. Если элемент демонстрирует значительные нагрузки на другую конструкцию, может возникнуть проблема с его дискриминантной валидностью. Разница в нагрузках менее 0,10 говорит о том, что элемент является перекрестной загрузкой на другую конструкцию, что угрожает дискриминантной валидности [20, 38]. Коэффициент НТМТ контрастирует с интенсивностью отношений между конструктами как мерой дискриминантной валидности. Значение больше 0,90 указывает на недостаточную дискриминантную валидность. Мы полагаем, что конструкты более отчетливы. Тем не менее, порог 0,85 можно рассматривать как [55, 56].

Для проведения теста дискриминантной валидности собранные данные были проанализированы с помощью соответствующего статистического программного обеспечения. Критерий Форнелла-Ларкера исследовал корреляционные матрицы, факторные нагрузки и значения AVE для оценки дискриминантной валидности [39, 59]. Для оценки перекрестных загрузок использовали сравнение загрузок элементов с их родительской конструкцией и другими конструкциями. На основе пороговых значений, предложенных предыдущими исследованиями, для оценки дискриминантной валидности был рассчитан коэффициент НТМТ [20, 53]. Это исследование гарантировало, что конструкты, используемые для измерения факторов, влияющих на успех метавселенной в строительной отрасли, были различны и не пересекались с помощью теста дискриминантной валидности. Это помогает установить валидность измерительной модели и вселяет уверенность в интерпретации результата.

### 3.7. Расчет структурной модели

Тест на анализ структурной модели был проведен для оценки взаимосвязей между латентными переменными и проверки гипотез, сформулированных в этом исследовании относительно факторов, влияющих на успех метавселенной в строительной отрасли [11, 30]. В этом анализе было использовано несколько статистических показателей, включая Т-статистику, значения, выборочное среднее, стандартное отклонение (STDEV) и бутстреппинг-анализ.

Т-статистика количественно оценивает величину и значимость взаимосвязей между латентными переменными. оценивают значимость отношений [38, 53]. Соответствующие значения определяют статистическую значимость этих зависимостей. Низкое значение (обычно менее 0,05) указывает на статистически значимую связь, подтверждающую соответствующую гипотезу.

Выборочное среднее и стандартное отклонение (STDEV) представляет собой среднее значение переменной по выборке, указывающее на центральную тенденцию. Стандартное отклонение (STDEV) — это мера дисперсии. Стандартное отклонение, или стандартное отклонение, количественно оценивает дисперсию или изменчивость точек данных относительно среднего значения. Эти показатели облегчают понимание распределения и атрибутов наблюдаемых переменных.

Бутстреппинг-анализ — это метод пересчета, используемый для оценки надежности и стабильности результатов структурной модели. Это влечет за собой создание нескольких подвыборок из исходного набора данных и создание оценочного распределения. Этот анализ обеспечивает доверительные интервалы и уровни

значимости для коэффициентов модели, тем самым повышая валидность результатов [7, 57].

Значимость гипотез и взаимосвязи между латентными переменными оценивались с помощью теста анализа структурной модели. Для определения значимости взаимосвязей использовались t-статистика и значения, тем самым подтверждая или опровергая гипотезы. Выборочное среднее значение и стандартное отклонение стандартного отклонения позволили получить представление о распределении и изменчивости наблюдаемых переменных [20, 38]. И последнее, но не менее важное: анализ начальной загрузки позволил получить дополнительное представление о надежности и стабильности результатов модели, тем самым обеспечив валидность и обобщаемость результатов.

Это исследование позволило получить всестороннее понимание взаимосвязей между факторами, влияющими на успех метавселенной в строительной отрасли, с помощью теста анализа структурной модели. Статистические измерения и бутстреппинг-анализ обеспечили статистическую значимость, доверительные интервалы и информацию о стабильности, повысив доверие к исследованию и внося свой вклад в корпус знаний в этой области [26, 54].

### 3.8. Прогностическая релевантность

В моделировании структурных уравнений методом наименьших квадратов в частных производных (PLS-SEM) критерий Q-квадрат используется для определения прогностической релевантности или прогностической валидности структурной модели. Он измеряет точность, с которой модель предсказывает эндогенные латентные переменные на основе экзогенных латентных переменных.

Вычитание прогностической релевантности показателей зависимого конструкта из прогностической релевантности самого конструкта дает значение Q-квадрат [45, 50]. Результирующее значение указывает на долю дисперсии в эндогенной конструкции, объясняемую экзогенными конструктами модели. Критерий Q-квадрат важен, потому что он показывает способность модели предсказывать конструкт результата. Большее значение Q-квадрат подразумевает более сильную прогностическую релевантность, указывая на то, что модель лучше способна объяснить и предсказать эндогенную конструкцию с учетом экзогенных конструктов.

Для интерпретации значение Q-квадрата должно быть сравнено с нулем. Значение Q-квадрат больше нуля указывает на прогностическую валидность. В идеале значение Q-квадрат должно быть больше 0, что указывает на сильную предсказательную способность модели. Однако направление Q-квадрата (положительное или отрицательное) более значимо, чем его абсолютное значение [20]. В этом исследовании используется критерий Q-квадрат для оценки прогностической валидности структурной модели для факторов, влияющих на успех метавселенной в строительной отрасли. Положительное и существенное значение Q-квадрата указывает на то, что экзогенные конструкты в модели оказывают значимое влияние на прогнозирование эндогенного конструкта, поддерживая способность модели объяснять и предсказывать результаты [42].

Критерий Q-квадрат способствует общей оценке валидности модели и повышает уверенность в ее предсказательных способностях. Это гарантирует, что предложенная

структурная модель охватывает взаимосвязи между латентными переменными и способствует пониманию факторов, влияющих на успех метавселенной в строительной отрасли [52].

### 3.9. Тест на производительность важности

Тест производительности важности (IPT) является ценным инструментом для оценки относительной важности и производительности различных конструкций или атрибутов в конкретном контексте. В рамках данного исследования факторов, влияющих на успех метавселенной в строительной отрасли, был проведен тест важности-производительности для оценки значимости и эффективности выявленных конструкций. На этапе оценки важности участники или заинтересованные стороны ранжируют важность каждого конструкта или атрибута [44]. Обычно это достигается с помощью опроса или анкетирования, в котором участники субъективно оценивают важность каждого конструкта. Рейтинги важности, как правило, документируются с помощью шкалы Лайкерта или сопоставимой системы оценок.

На этапе оценки эффективности участники или заинтересованные лица оценивают производительность или уровень удовлетворенности, связанные с каждым конструктом. Они оценивают текущую производительность каждого конструкта в данном контексте. Как и в случае с оценкой важности, оценки эффективности собираются с помощью шкалы Лайкерта или аналогичного измерительного инструмента [23, 42].

Затем на основе оценок, полученных на основе двух оценок, строится матрица эффективности важности. Эта матрица позволяет визуально сравнивать и представлять значимость и эффективность каждого конструкта или атрибута. Квадрант «высокая важность, высокая производительность» представляет сильные стороны, в то время как квадрант «высокая важность, низкая производительность» представляет возможности для улучшения [14, 41].

Используя тест «важность-производительность», данное исследование направлено на выявление основных конструктов, которые являются одновременно очень важными и хорошо работают, а также тех, которые требуют улучшения. Результаты этого анализа помогут расставить приоритеты ресурсов и направить процессы принятия решений на повышение успешности внедрения метавселенной в строительной отрасли.

---

## 4. Результаты

### 4.1. Демографические данные

Демографические данные исследования, проведенного в строительной отрасли Бангладеш, дают представление о характеристиках участников, как показано в таблице 1. В исследовании принял участие 101 специалист, занимающий различные должности, связанные со строительством, включая архитекторов, сметчиков, инженеров-строителей, инженеров по мониторингу и оценке, менеджеров проектов и других. Стол 1 показывает, что среди профессионалов наиболее распространены инженеры-строители, составляющие 59,41% выборки, за ними следуют архитекторы (10,89%), геодезисты (9,9%) и руководители проектов (9,9%). Небольшой процент участников идентифицировал себя как инженеров по мониторингу и оценке (6,93%), в

то время как другие попали в категорию «другие» (2,97%). Что касается организаций, представленных в исследовании, то большинство участников были аффилированы с подрядчиками (54,46%), за ними следуют консультанты (38,61%) и клиенты (6,93%). Такое распределение отражает разнообразие точек зрения и ролей в строительной отрасли Бангладеш. Что касается опыта работы в строительной отрасли Бангладеш, то стаж работы участников был различным. Четверть участников имели опыт работы от 0 до 5 лет (25,74%), в то время как чуть больший процент имел опыт работы от 6 до 10 лет (26,73%). Большинство участников попали в категорию от 1 до 15 лет опыта (34,65%). Меньшая часть участников имела опыт работы от 16 до 20 лет (6,93%), в то время как некоторые имели опыт работы более 20 лет (5,94%). Эти демографические данные дают важную информацию о составе исследуемой выборки, позволяя лучше понять профессиональный опыт участников, их организационную принадлежность и уровень опыта работы в строительной отрасли Бангладеш.

Таблица 1  
Демографическая детализация респондентов.

Category	Classification	Frequency	%
Profession	Architect	10	10.89
	Quantity surveyor	11	9.9
	Civil engineer	61	59.41
	M&E engineer	6	6.93
	Project manager	11	9.9
	Other	2	2.97
Organization	Contractor	54	54.46
	Consultant	38	38.61
	Client	9	6.93
Experience in the Bangladesh construction industry	0–5 years	25	25.74
	6–10 years	28	26.73
	1–15 years	33	34.65
	16–20 years	8	6.93
	Over 20 years	5	5.94

## 4.2. Качественное интервью

Были проведены глубинные интервью с пятнадцатью отраслевыми экспертами из Бангладеш с целью улучшения и уточнения выявленных факторов успеха. Участники были выбраны на основе их строительных знаний, опыта и знакомства с новыми технологиями, такими как метавселенная. Данные интервью были проанализированы с использованием качественных методик, в том числе тематического анализа [4, 52]. В ходе этого анализа были выявлены общие мотивы, закономерности и возникающие факторы, которые были объединены с ранее выявленными факторами успеха из обзора литературы [51, 59]. Стол 2 приведена категоризация и модификация выявленных факторов успеха из литературы. Этот итеративный процесс интеграции информации, полученной в результате обзора литературы и интервью с экспертами, позволил получить всеобъемлющий и уточненный набор факторов успеха, специально адаптированных к контексту строительной отрасли Бангладеш [47, 57].

Таблица 2  
Факторы успеха взяты из литературы.

Construct	Code	Description	Reference
Monitoring and maintenance	SF.M1	The metaverse could revolutionize the planning and design phases of construction projects. Architects, engineers, and other stakeholders can collaborate more effectively, visualize designs realistically, and identify potential issues or conflicts before construction through immersive virtual reality experiences. This can help reduce costly rework and increase the overall efficacy of the undertaking	[7, 55]
	SF.M2	The metaverse could facilitate real-time monitoring of construction projects by providing a digital representation of physical assets and allowing stakeholders to trace progress, identify constraints, and more effectively manage resources. Sensors and Internet of Things (IoT) devices embedded in construction sites can capture data and input it into the metaverse, enabling improved decision-making and preventative maintenance	[34, 52]
	SF.M3	Remote inspections and maintenance can be conducted more efficiently using the metaverse. Experts can navigate the virtual representation of a construction project to assess its condition, identify potential issues, and provide guidance or instructions to on-site teams without having to physically visit the site. This can save time, reduce travel expenses, and enhance maintenance and repair response times	[54, 60]
	SF.M4	The metaverse can serve as a platform for replicating various scenarios and instructing construction employees. Through virtual environments, employees can practice complex tasks, encounter dangerous situations without real-world hazards, and acquire practical experience in a safe environment. This can increase safety, enhance skill development, and reduce accidents on the job site	[2, 21]
	SF.M5	The metaverse can facilitate predictive maintenance in construction projects in conjunction with sophisticated data analytics and artificial intelligence. By integrating real-time sensor data from equipment and structures into the metaverse, patterns, and anomalies can be identified, enabling proactive maintenance measures. Predictive maintenance helps prevent equipment failures, reduces downtime, and prolongs the life of assets, resulting in cost savings and enhanced project efficiency	[22, 48]
Communication and collaboration	SF.C1	The metaverse can provide stakeholders from disparate locations with immersive virtual meeting spaces to discuss and collaborate on construction projects. This eliminates the need for physical travel, reduces expenses, and enables real-time communication and decision-making	[1, 26]
	SF.C2	Architects, engineers, and other stakeholders can collaborate more effectively on design iterations using the metaverse. They can use virtual reality tools to visualize and manipulate 3D models, make adjustments in real time, and receive instant feedback. This promotes an interactive and iterative design process, resulting in better construction plans and fewer errors	[38, 58]
	SF.C3	On construction endeavors, crews frequently operate in various locations. The metaverse can facilitate the seamless collaboration of geographically dispersed teams by sharing information, documents, and project updates. This promotes collaboration, the sharing of knowledge, and a unified comprehension of the project's objectives	[13, 29]
Design and visualization	SF.C4	Project stakeholders can communicate and provide feedback in real time via the metaverse. This is possible through text, voice, and video communication in the virtual environment. Instantaneous feedback expedites decision-making, problem-solving, and problem-resolution, thereby enhancing the productivity of construction initiatives	[5, 39]
	SF.C5	The metaverse can be a centralized document-sharing platform where stakeholders can access and collaborate on project-related files. This ensures that everyone has access to the most recent document versions, prevents confusion caused by multiple copies, and streamlines team communication	[22, 25]
	SF.D1	The metaverse can make design and visualization in the construction industry more accessible to nonspecialists. Clients, project managers, and other stakeholders without technical design expertise can navigate and investigate virtual environments, making it simpler for them to provide feedback and make informed decisions	[1, 26]
	SF.D2	When incorporated with building information modelling (BIM) and other data sources, the metaverse can help identify design tensions and conflicts. It is possible to detect potential conflicts between building systems, structural elements, and services early on using automated collision detection algorithms and simulations. This enables prompt resolution and assures a more efficient construction process	[31, 32]
	SF.D3	The metaverse facilitates collaborative design evaluations by providing a shared virtual space where stakeholders can congregate, investigate, and provide design feedback. This enables real-time discussions, annotations, and markings on virtual models. Design modifications can be visualized and collectively evaluated, resulting in more effective design decisions	[23, 47]
SF.D4	In conjunction with virtual reality (VR) and augmented reality (AR) technologies, the metaverse can provide immersive and convincing visualizations of construction undertakings. Before buildings and infrastructure are constructed, designers, architects, and stakeholders can investigate virtual environments to experience their scale, proportions, and spatial relationships. This facilitates a more precise comprehension of design concepts and aids in the early identification of prospective problems	[4, 41]	
SF.D5	The metaverse enables virtual prototyping, where designers can construct and test multiple design iterations in a virtual environment. This allows for swift design modifications and iterations without requiring tangible prototypes. Designers can visualize and interact with their designs in real time, enabling them to assess their viability and make more efficient modifications	[21, 34]	

На основе экспертных мнений составлена категоризация и уточнение факторов успеха, и из приведенной выше таблицы можно разработать гипотезу. Цифра 2 Показана гипотеза исследования. (H1): Мониторинг и техническое обслуживание строительства существенно влияют на успех метавселенной в

строительной отрасли (H2): Коммуникация и совместная работа существенно влияют на успех метавселенной в строительной отрасли (H3): Конструкция дизайна и визуализации существенно влияет на успех метавселенной в строительной отрасли

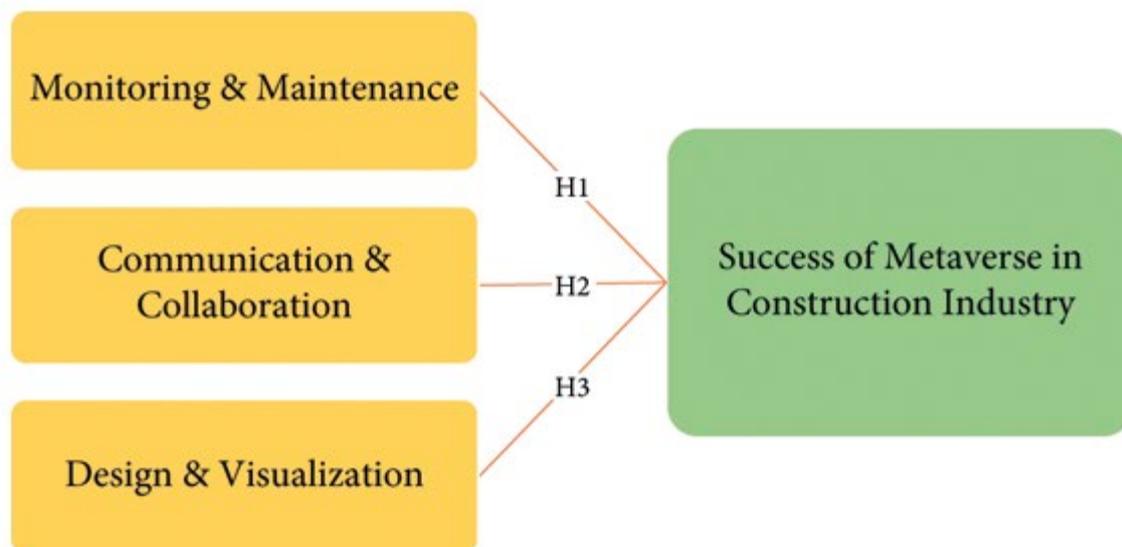


Рисунок 2  
Гипотеза исследования.

#### 4.3. Анализ ОДВ

Результаты ОДВ свидетельствуют о том, что мы провели тщательный анализ наших данных. Установление порогового значения нагрузки, равного 0,6, гарантировало, что только факторные нагрузки, превышающие этот порог, считались значимыми и сохранялись в анализе. Эта фаза помогла определить наиболее значимые переменные/элементы, влияющие на каждый фактор, используя метод варимаксного вращения для облегчения интерпретации факторов [45, 55]. Этот метод максимизирует квадрат дисперсии нагрузки в пределах каждого фактора, делая факторы более четкими и интерпретируемыми. Эти элементы послужили исходными факторами в ОДВ, в результате чего сформировались три различных конструкта [22, 25].

Первая конструкция, «коммуникация и сотрудничество», включает переменные коммуникации и сотрудничества. Этот фактор указывает на то, что эти переменные имеют общую фундаментальную концепцию или структуру. Вторая конструкция, «дизайн и визуализация», обозначает переменные, связанные с аспектами дизайна и визуализации. Этот фактор отражает дисперсию этих переменных, обозначая их отношение к определенному конструкту. Третья и последняя конструкция, «мониторинг и обслуживание», представляет переменные, связанные с задачами мониторинга и обслуживания. Этот фактор указывает на то, что эти переменные измеряют одну и ту же базовую конструкцию, о чем свидетельствует их общая дисперсия.

Стол 3 указывает результаты поискового факторного анализа; Каждая конструкция демонстрирует существенные вариации с соответствующими значениями 12 122, 11 114 и 10 813. Это указывает на то, что факторы составляют большую часть общей изменчивости данных. Кроме того, собственные значения этих факторов больше 1, что

повышает их значимость для объяснения наблюдаемых закономерностей. В ней также утверждалось, что коэффициент альфа Кронбаха для каждой конструкции больше 0,70. Это говорит о том, что переменные внутри каждой конструкции высоко коррелируют и точно измеряют лежащую в ее основе конструкцию, что указывает на превосходную внутреннюю согласованность [17, 30]. Анализ ОДВ выявил три различных конструкта, касающихся структуры и состава данных: коммуникация и сотрудничество, проектирование и визуализация, а также мониторинг и техническое обслуживание. Эти выводы обеспечивают прочную основу для дальнейшего анализа и интерпретации результатов исследования.

Таблица 3  
Результаты анализа ОДВ.

Variables	1	2	3
SF.M1	0.775		
SF.M2	0.741		
SF.M3	0.735		0.724
SF.M4	0.718		
SF.M5	0.685		
SF.C1		0.773	
SF.C2		0.752	
SF.C3		0.714	0.814
SF.C4		0.703	
SF.D1			0.681
SF.D2			0.633
SF.D3			0.765
SF.D4			0.772
Eigen values	3.934	3.117	2.724
% variance	12.122	11.114	10.813

#### 4.4. Факторный анализ алгоритма PLS

По-видимому, факторный анализ был проведен с использованием алгоритма частных наименьших квадратов (PLS) в рамках моделирования структурными уравнениями (SEM). В качестве минимального порогового значения для каждого элемента при анализе учитывался критерий нагрузки 0,6. Этот критерий гарантировал, что значимыми считались только пункты с факторной нагрузкой 0,6 и выше, которые сохранялись для дальнейшего анализа [32, 41].

В SEM алгоритм PLS часто используется для характеристики связей между латентными конструктами (факторами) и наблюдаемыми переменными (элементами). Цифра 3 показывает критерий нагружения 0,6; Анализ был направлен на выявление переменных/элементов, вносящих наиболее значимый вклад в каждый фактор. Критерий нагрузки, равный 0,6, указывает на устойчивую связь между наблюдаемыми переменными и латентными конструктами. Изделия с нагрузками, равными или превышающими этот порог, считаются надежными индикаторами фундаментальных факторов. Анализ обеспечил, чтобы были включены только те элементы, которые имеют существенную связь с факторами, используя постоянное пороговое значение загрузки, равное 0,6 для каждого элемента. Этот метод облегчает интерпретацию результатов, выделяя наиболее значимые переменные [46, 57].

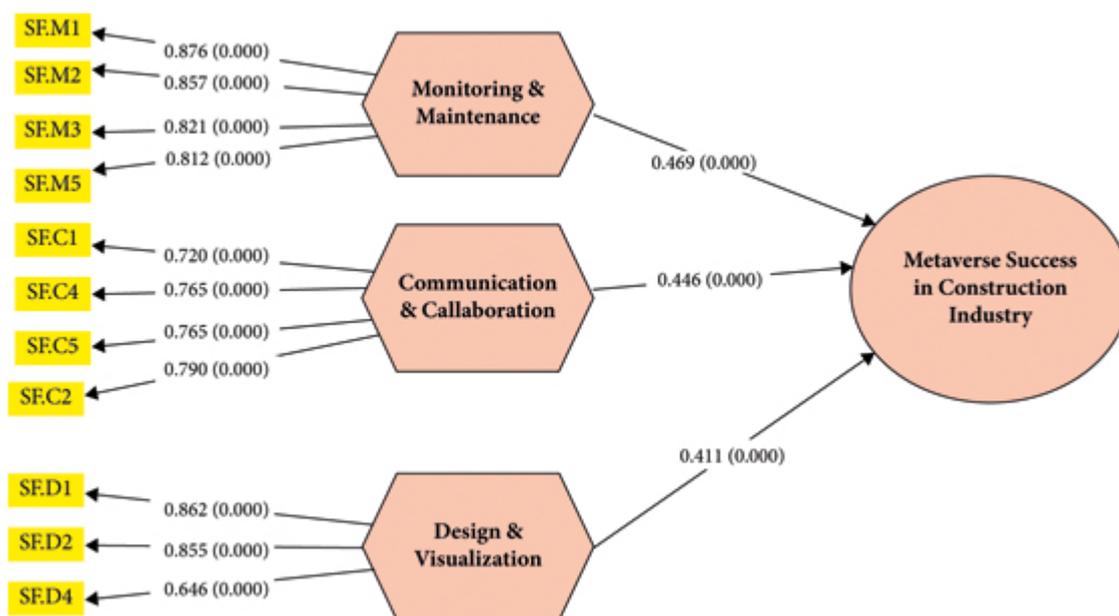


Рисунок 3

Факторный анализ алгоритма PLS с указанием конструкций нагрузок и эффектов вместе с их величиной.

Результатом анализа будет инвентаризация удержанных номенклатур с соответствующими факторными нагрузками. Эти нагрузки показывают интенсивность и направление связи между каждым элементом и соответствующим ему фактором [11, 38]. Для интерпретации результатов необходимо изучить взаимосвязи между сохраненными элементами и идентифицированными факторами. Важность и значимость каждого

фактора может быть определена путем анализа связанных с ним нагрузок и вклада соответствующих элементов.

В заключение, факторный анализ, выполненный с помощью алгоритма PLS и критерия загрузки 0,6 для каждого элемента, облегчает идентификацию и интерпретацию влиятельных переменных и факторов в наборе данных. Эти результаты дают представление о базовой структуре данных и могут служить ориентиром для последующего анализа и интерпретации.

#### 4.4.1. Конвергентная валидность

Для установления сходящейся валидности необходимо иметь высокую факторную нагрузку (выше 0,6), подходящее значение извлеченной средней дисперсии (AVE) (обычно выше 0,5) и достоверное значение композитной надежности (CR) (часто выше 0,7). Стол 4 показывает, что результаты исследования удовлетворяют установленным критериям конвергентной валидности. Это те значения, которые составляют конвергентную валидность. Составная надежность указывает на внутреннюю согласованность или надежность элементов измерения, включенных в конструкцию [32, 41]. Он указывает на степень, в которой элементы точно измеряют лежащую в основе концепцию. По этой причине обычно считается предпочтительным иметь значение композитной надежности выше 0,7 при попытке доказать сходимую валидность.

Таблица 4  
Результаты конвергентной валидности.

Construct	Cronbach's alpha	Composite reliability (rho-a)	Composite reliability (rho-c)	The average variance extracted (AVE)
Communication and collaboration	0.758	0.763	0.846	0.579
Design and visualization	0.705	0.707	0.834	0.631
Monitoring and maintenance	0.863	0.867	0.907	0.709

#### 4.4.2. Дискриминантная валидность

Понятие дискриминантной валидности относится к оценке степени, в которой измерительные элементы, используемые для различных конструктов, могут быть отличены друг от друга. Он исследует, имеют ли компоненты, составляющие каждую конструкцию, более сильную корреляцию друг с другом, чем с компонентами, составляющими другие конструкции. Некоторые метрики, такие как межконструктивные корреляции, извлеченная средняя дисперсия (AVE) и квадратный корень из AVE, могут быть оценены, чтобы определить, была ли соблюдена дискриминантная валидность. Используя эти измерения, можно решить, адекватно ли конструкты дифференцированы друг от друга [46, 49]. Термин «интерконструктивные корреляции» описывает отношения между несколькими конструктами. Межконструктивные корреляции должны быть умеренными или низкими, чтобы продемонстрировать дискриминантную валидность. Это указывает на то, что конструкты разделены и не имеют сильной связи друг с другом. Оценка вариации, собранной элементами в конструкции относительно погрешности измерения, может быть получена

с помощью статистики, известной как извлеченная средняя дисперсия (AVE). Более высокий AVE означает, что больший процент дисперсии понятия объясняется его элементами, что указывает на более сильную дискриминантную валидность [11, 52]. Это связано с тем, что AVE измеряет долю вариации в конструкте, которая объясняется его элементами. Важно убедиться, что квадратный корень из AVE для каждого конструкта выше, чем корреляции, найденные между этой конструкцией и другими конструктами [33, 57]. Этот критерий гарантирует, что конструкт имеет большую общую дисперсию с самим собой (зарегистрированную AVE), чем с другими конструктами, поддерживая дискриминантную валидность понятия [5, 14].

При оценке валидности дискриминанта обычно используют критерий Форнелла-Ларкера, перекрестные нагрузки и критерий гетеропризнака-монопризнака (HTMT). Используя эти критерии, исследование определяет, различаются ли конструкты в анализе [37, 56]. После каждого критерия приведены некоторые пояснения, а также соответствующие ограничения результатов:

Стол 5 показывает результаты HTMT, которые удовлетворяют критериям точности модели. Критерии HTMT сравнивают корреляции между различными конструктами, известные как корреляции гетеротрейтного метода, с корреляциями между элементами внутри одного и того же конструкта, известными как корреляции метода. Коэффициент HTMT должен быть меньше 1, что указывает на то, что конструкции отличаются друг от друга больше, чем они отличаются изнутри себя [24, 40].

Таблица 5  
Результаты дискриминантной валидности HTMT.

Constructs	Communication and collaboration	Design and visualization	Monitoring and maintenance
Communication and collaboration			
Design and visualization	0.321		
Monitoring and maintenance	0.528	0.485	

Критерии HTMT гласят, что коэффициент HTMT для каждой пары конструктов должен быть меньше 1, и предел результатов основан на этом критерии. Значения больше единицы могут указывать на возможные проблемы с дискриминантной валидностью [42, 60].

Стол 6 показан критерий Форнелла-Ларкера для суждения о дискриминантной валидности, и данное исследование удовлетворяет этим критериям. Критерий Форнелла-Ларкера сравнивает квадратные корни из значений AVE (которые показывают величину вариации, объясняемой конструктом) с корреляциями между различными конструктами. В соответствии с этими критериями, квадратный корень из AVE для каждого конструкта должен быть больше, чем корреляция между этим конструктом и различными другими конструктами [13, 40].

Таблица 6

Результаты критерия Форнелла–Ларкера.

Constructs	Communication and collaboration	Design and visualization	Monitoring and maintenance
Communication and collaboration	0.761		
Design and visualization	0.232	0.794	
Monitoring and maintenance	0.436	0.375	0.842

Предел результатов состоит в том, что для выполнения критерия Форнелла–Ларкера квадратный корень из AVE для каждого конструкта должен быть больше, чем корреляция между этим конструктом и любым другим конструктом. Нарушение этого критерия указывает на возможные проблемы с дискриминантной валидностью.

Стол 7 Нагрузки Росса оценивают степень, в которой элементы одной сборки нагружаются на другие конструкции. Перекрестные нагрузки измеряют величину, на которую одна конструкция нагружает другую. В идеальном сценарии нагрузки каждого элемента на соответствующие конструкции должны быть больше, чем на любые другие конструкции.

Таблица 7

Результаты перекрестных нагрузок.

Variables	Communication and collaboration	Design and visualization	Monitoring and maintenance
SF.C1	<b>0.72</b>	0.147	0.21
SF.C2	<b>0.79</b>	0.107	0.445
SF.C4	<b>0.765</b>	0.197	0.322
SF.C5	<b>0.765</b>	0.252	0.325
SF.D1	0.153	<b>0.862</b>	0.28
SF.D2	0.201	<b>0.855</b>	0.296
SF.D4	0.198	<b>0.646</b>	0.318
SF.M1	0.414	0.33	<b>0.876</b>
SF.M2	0.374	0.379	<b>0.857</b>
SF.M3	0.318	0.311	<b>0.821</b>
SF.M5	0.357	0.234	<b>0.812</b>

Bold values present the factor loading considered for each of the factor on the left side.

Ограничение результатов: Для того, чтобы дискриминантная валидность теста считалась адекватной, перекрестные нагрузки каждого элемента на его конструкцию должны быть больше, чем на любых других конструкциях. Когда перекрестные нагрузки на другие конструкции выше, это говорит о том, что могут быть проблемы с дискриминантной валидностью.

Важно иметь в виду, что конкретные численные пороговые значения для этих критериев могут различаться в зависимости от окружающей среды и района проводимых исследований [12, 37]. Однако, как показывает практика, если эти ограничения по результатам соблюдены, это говорит о том, что дискриминантная валидность хорошая, в то время как нарушения сигнализируют о том, что, возможно, необходимо решить возможные проблемы. Проверка дискриминантной валидности имеет важное значение, поскольку это гарантирует, что оцениваемые в исследовании конструкты являются отдельными и не имеют сильной степени корреляции друг с другом [24, 60]. Благодаря этому повышается достоверность и корректность результатов исследования, так как оно демонстрирует индивидуальность каждого конструкта.

#### 4.5. Расчет конструктивной модели

##### 4.5.1. Эмпирическая корреляционная матрица

Чтобы объяснить результаты эмпирической корреляционной матрицы, матрица представляет попарные корреляции между переменными в наборе данных. Каждый столбец матрицы представляет коэффициент корреляции, который может изменяться от минус одного до плюс одного и отражает силу линейной связи между переменными и направление, в котором движется взаимосвязь.

Стол 8 показаны положительные корреляции, представленные значениями, близкими к +1, указывающими на прямую связь между двумя переменными, в которой повышение одной переменной связано с увеличением другой переменной. Отрицательные корреляции, имеющие значения, близкие к -1, показывают обратную связь, в которой повышение одной переменной связано с уменьшением другой переменной. Эти корреляции могут быть обнаружены, когда значения находятся ближе друг к другу. Предполагается, что при коэффициенте корреляции, равном 0, линейной связи между переменными нет [34, 53]. При исследовании эмпирической корреляционной матрицы мы обращаем пристальное внимание на величину и направление корреляций [61]. Абсолютные значения сильных корреляций, как положительных, так и отрицательных, часто ближе к 1, в то время как значения меньших корреляций обычно ближе к 0 [13, 40]. В дополнение к этому, мы обращаем внимание на паттерн отношений, который охватывает все переменные. Мы ищем группы переменных или кластеры переменных, которые имеют более сильную корреляцию между собой, чем с другими переменными в целом. Это может указывать на возможные глубинные причины или связи в подмножествах рассматриваемых переменных [40, 42]. Обучение расшифровке эмпирической корреляционной матрицы не только помогает определить взаимосвязи между различными переменными, но и дает представление о базовой структуре данных [15, 62]. Дальнейший анализ, такой как факторный анализ или регрессионное моделирование, может руководствоваться им, а также может помочь определить, какие переменные связаны между собой.

Таблица 8

Вывод эмпирической корреляционной матрицы.

Variables	SF.C1	SF.C2	SF.C4	SF.C5	SF.D1	SF.D2	SF.D4	SF.M1	SF.M2	SF.M3	SF.M5
SF.C1	1	0.423	0.414	0.445	0.123	0.047	0.189	0.207	0.188	0.126	0.184
SF.C2	0.423	1	0.495	0.447	0.044	0.159	0.044	0.4	0.387	0.362	0.348
SF.C4	0.414	0.495	1	0.41	0.165	0.174	0.128	0.288	0.276	0.249	0.271
SF.C5	0.445	0.447	0.41	1	0.14	0.213	0.251	0.345	0.268	0.208	0.268
SF.D1	0.123	0.044	0.165	0.14	1	0.704	0.313	0.216	0.266	0.265	0.194
SF.D2	0.047	0.159	0.174	0.213	0.704	1	0.28	0.272	0.285	0.259	0.175
SF.D4	0.189	0.044	0.128	0.251	0.313	0.28	1	0.3	0.357	0.211	0.188
SF.M1	0.207	0.4	0.288	0.345	0.216	0.272	0.3	1	0.677	0.64	0.611
SF.M2	0.188	0.387	0.276	0.268	0.266	0.285	0.357	0.677	1	0.588	0.598
SF.M3	0.126	0.362	0.249	0.208	0.265	0.259	0.211	0.64	0.588	1	0.556
SF.M5	0.184	0.348	0.271	0.268	0.194	0.175	0.188	0.611	0.598	0.556	1

Цифра 4 Показывает анализ начальной загрузки. В контексте строительного сектора таблица иллюстрирует результаты, полученные в результате проверки трех различных гипотез. Коммуникация и сотрудничество (CC), успех метавселенной в строительной отрасли (MSC), проектирование и визуализация (DV), а также мониторинг и техническое обслуживание (MM) — вот конструкции, которые используются здесь.

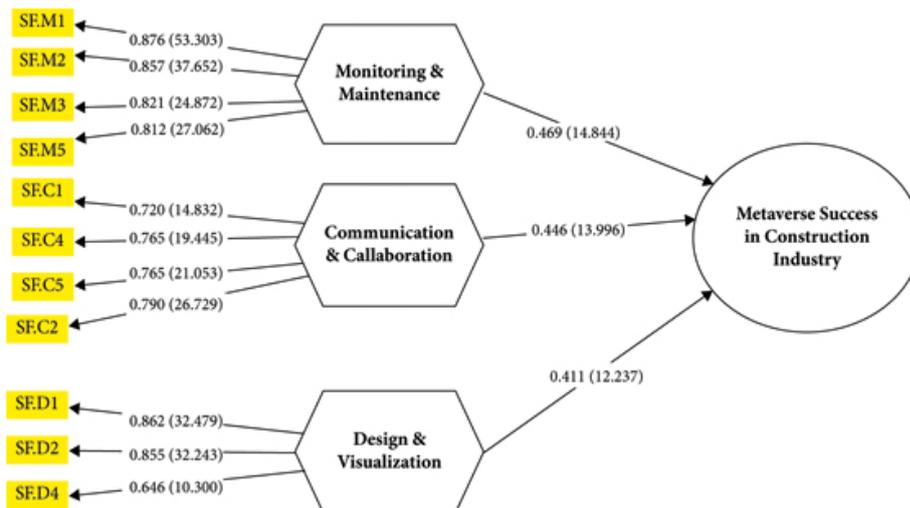


Рисунок 4

Анализ начальной загрузки с помощью T-статистики и загрузки путей.

Стол 9 указывает, во-первых, на гипотезу 2 (H2), исследующую связь между коммуникацией и сотрудничеством (CC) и успехом метавселенной в строительном секторе (MSC). Согласно результатам исследования, выборочное среднее для этой связи равно 0,446, а его стандартное отклонение — 0,032 [13, 51]. Высокую степень статистической значимости показывает рассчитанное значение Т-статистики, равное 13,996. Принятие гипотезы является прямым результатом того, что свидетельствует о статистически значимой связи. Следовательно, существует существенная и положительная связь между общением и сотрудничеством и успехом метавселенной в строительном бизнесе.

Таблица 9  
Бутстреппинг-анализ для проверки гипотезы.

Hypothesis	Construct	(O)	(M)	(STDEV)	Tstatistics	P values	Status
H2	CC → MSC	0.446	0.446	0.032	13.996	0	Accepted
H3	DV → MSC	0.411	0.41	0.034	12.237	0	Accepted
H1	MM → MSC	0.469	0.467	0.032	14.844	0	Accepted

CC = communication and collaboration; MSC = metaverse success in construction industry; DV = design and visualization; MM = monitoring and maintenance; (O) = effect of construct on success of metaverse; STDEV = standard deviation.

После этого гипотеза 3 (H3) исследует связь между проектированием и визуализацией (DV) и успехом метавселенной в строительном секторе (MSC). При стандартном отклонении 0,034 выборочное среднее для этого соединения равно 0,411 с дисперсией 0,034. Высокую степень статистической значимости показывает значение Т-статистики, равное 12,237, что подтверждается тем фактом, что значение равно 0. Как следствие этого, гипотеза принимается, и результаты показывают, что существует значительная положительная связь между проектированием и визуализацией и успехом метавселенной в строительном секторе.

И последнее, но не менее важное: гипотеза 1 (H1) исследует связь между мониторингом и техническим обслуживанием (MM) и успехом метавселенной в строительном секторе (MSC). Согласно результатам исследования, выборочное среднее для этой связи равно 0,469, а его стандартное отклонение – 0,032. О высокой степени статистической значимости свидетельствует значение Т-статистики, равное 14,844, что является достаточно высоким [5]. Тот факт, что в конечном итоге привело к принятию гипотезы. Следовательно, существует значительная положительная связь между мониторингом и обслуживанием и успехом метавселенной в строительном бизнесе [13, 51].

В заключение, результаты показывают, что в строительном секторе существуют значительные положительные связи между коммуникацией и сотрудничеством, проектированием и визуализацией, мониторингом и обслуживанием, а также успехом метавселенной. В пользу принятия обеих гипотез говорит высокая степень статистической значимости, о чем свидетельствуют низкие значения, равные 0. Согласно этим результатам, не стоит сбрасывать со счетов значимость этих структур в строительном секторе в рамках метавселенной, в которой она функционирует.

#### 4.6. Q-квадрат прогностической релевантности

В следующей таблице представлена информация о сумме квадратов (SSO), сумме квадратов ошибок (SSE) и значении Q-квадрата для конструкции под названием «Успех метавселенной в строительной отрасли». Единый вход обозначает стандартное отклонение общей дисперсии или изменчивости конструкции. В данном конкретном случае SSO для успеха метавселенной в строительной отрасли составляет 3971 000.

С другой стороны, стандартизированная стандартная ошибка (SSE) представляет собой остаточную или необъяснимую дисперсию в понятии. Он вычисляется как сумма квадратов расхождений между фактическими значениями конструкции и ожидаемыми значениями. Стандартизированная шкала оценки (SSE) успешности метавселенной в строительной отрасли составляет 2996,772.

Стол 10 показывает, что Q-квадрат измеряет количество вариаций в конструкции, объясняемой моделью. Он рассчитывается как 1 минус SSE, деленный на SSO, и измеряет величину дисперсии, объясняемую моделью. Значение Q-квадрата для успеха метавселенной в строительной отрасли в данном конкретном случае составляет 0,245.

Таблица 10  
Прогностический тест релевантности.

Construct	SSO	SSE	Q-square = $(1 - SSE/SSO)$
Metaverse success in construction industry	3971.000	2996.772	0.245

Тот факт, что модель имеет значение Q-квадрата, равное 0,245, говорит о том, что на ее долю приходится около 24,5% от общей вариации успеха метавселенной в строительной отрасли [13, 51]. Это указывает на то, что около 24,5% изменчивости конструкта может быть отнесено на счет факторов или переменных, включенных в модель, в то время как остальные 75% вариативности в конструкте либо не объяснены, либо объяснены другими факторами, не включенными в модель.

Важно иметь в виду, что контекст и область исследования играют роль в определении того, как следует интерпретировать Q-квадрат. В целом, большие значения Q-квадрата предполагают, что модель лучше подходит для данных и что модель объясняет большую часть вариаций в данных [62]. Тем не менее, точный предел того, что представляет собой допустимое число Q-квадрат, может меняться в зависимости от области исследования [24, 40].

В заключение в таблице представлены данные о значениях SSO, SSE и Q-square, связанных с конструктом под названием «Успех метавселенной в строительной отрасли». Эти цифры помогают определить, насколько модель объясняет изменчивость конструкта. Например, значение Q-квадрата, равное 0,245, указывает на то, что на модель приходится около 24,5% вариаций успеха метавселенной в строительной отрасли.

#### 4.7. Важность работоспособности конструкта

В этой таблице представлены данные о конструктивных оценках, точнее, о показателях производительности и величинах эффектов, которые коррелируют со следующими тремя конструктами: коммуникация и сотрудничество, проектирование и визуализация, а также мониторинг и обслуживание.

Оценка эффективности конструкта коммуникации и совместной работы составляет 52,546 балла, что указывает на уровень или степень производительности в этой конкретной области. Было показано, что коммуникация и совместная работа имеют размер воздействия 0,466 [21, 34]. Величина эффекта — это статистическая метрика, которая измеряет степень существования связи или различия. Величина эффекта, равная 0,466, в данном случае указывает на умеренное влияние или связь между коммуникацией и сотрудничеством и оцениваемой переменной результата.

Аналогичным образом, оценка эффективности компонента, называемого «Дизайн и визуализация», составляет 56,39 балла, что указывает на степень эффективности в этой конкретной области. Существует умеренное влияние или связь между переменной проектирования и визуализации и переменной результата, о чем свидетельствует размер эффекта для проектирования и визуализации, равный 0,411.

И последнее, но не менее важное: оценка производительности для конструкции мониторинга и обслуживания составляет 44,965, что точно отражает степень производительности в этой конкретной области. Существует умеренный эффект или связь между мониторингом и поддержанием и переменной результата, как показывает величина эффекта, которая рассчитывается как 0,469. Размеры эффекта дают представление о типе и степени связи между каждой конструкцией и результирующей переменной [63]. Принято считать, что величина эффекта в диапазоне от 0,4 до 0,6 считается умеренной, что указывает на то, что конструкция оказывает значительное влияние на результат.

Стол 11 Содержит сводные данные о рейтингах производительности, а также о размерах воздействия для трех различных конструктов: коммуникации и совместной работы, проектирования и визуализации, а также мониторинга и обслуживания. Эти значения дают представление об уровнях производительности и величине связей между различными конструктами и оцениваемой переменной результата.

Таблица 11  
Важность выполнения конструкции.

Construct	Performance	Effect
Communication and collaboration	52.546	0.466
Design and visualization	56.39	0.411
Monitoring and maintenance	44.965	0.469

## 5. Обсуждение

Целью статьи, получившей название «Успех метавселенной в строительной отрасли», было изучение связей, которые существуют между коммуникацией и сотрудничеством (CC), проектированием и визуализацией (DV), мониторингом и обслуживанием (MM) и общим успехом метавселенной в строительной отрасли (MSC). Изучение гипотез привело к открытию важных результатов, подробно описанных в таблице ниже.

Вторая гипотеза, получившая название H2, исследовала связь между коммуникацией и сотрудничеством (CC) и уровнем успеха, достигнутого метавселенной строительной отрасли (MSC). Показано, что коэффициент детерминации (КК) оказывает влияние на МСК 0,446 при стандартном отклонении 0,032. О высокой степени статистической значимости свидетельствовало значение Т-статистики, равное 13,996, а связанное с ним значение 0 подтверждало наличие знака. В результате была принята гипотеза 2 (H2), которая предполагает сильную положительную связь между коммуникацией и сотрудничеством и успехом метавселенной в строительном бизнесе.

Третья гипотеза, обозначенная как H3, исследовала связь между проектированием и визуализацией (DV) и успехом метавселенной в строительной отрасли (MSC). Установлено, что среднее значение влияния DV на МСК составило 0,411 при стандартном отклонении 0,034. Результат 12,237 для Т-статистики указывал на большую статистическую значимость, а значение 0 для значения подтверждало эту значимость [5, 51]. В результате была подтверждена гипотеза 3 (H3), предполагающая значительную положительную связь между проектированием и визуализацией и достижениями метавселенной в строительном секторе.

Мониторинг и техническое обслуживание (MM) и успех метавселенной в строительной отрасли (MSC) были предметом исследования в первой гипотезе (H1), которая изучала их связь. Установлено, что среднее значение влияния MM на МСК составляет 0,469 со стандартным отклонением 0,032. Высокая степень статистической значимости была предложена значением Т-статистики, равным 14,844, и тот факт, что значение было равно 0, обеспечил дополнительную поддержку этой значимости [4, 64]. В результате гипотеза 1 (H1) была признана правдоподобной, указывая на существенную положительную связь между мониторингом и обслуживанием и успехом метавселенной в строительном бизнесе.

Эти результаты помогают лучше понять, как коммуникация и сотрудничество, проектирование и визуализация, а также мониторинг и обслуживание влияют на успех метавселенной в строительном секторе. Существенные ассоциации позволяют предположить, что эти конструкции играют ключевую роль в эффективном использовании метавселенной для достижения успеха в строительных проектах [1, 24]. Об этом свидетельствует тот факт, что эти связи значительны.

Мы приводим эмпирические данные, подтверждающие предположение о том, что более высокая степень коммуникации и сотрудничества, проектирования и визуализации, а также мониторинга и обслуживания связана с большим успехом в использовании метавселенной в строительном секторе, принимая эти гипотезы и принимая их как истинные. Это указывает на то, что прикладывание большего количества усилий к улучшению этих областей может привести к лучшим результатам в отношении того, как метавселенная внедряется и используется [13, 40].

Очень необходимо указать на ограничения, которые имеет данное исследование. Исследование опиралось на данные, предоставленные самими респондентами, что означает, что оно могло быть в некотором роде предвзятым. Кроме того, на успех метавселенной в строительном бизнесе могут повлиять и другие аспекты, которые следовало бы учесть в расследовании. В дальнейшем исследовании могут быть изучены другие конструкты и факторы, чтобы получить более глубокие и целостные знания о вовлеченной сложной динамике.

Исследование раскрывает важные сведения о связях между коммуникацией и сотрудничеством, проектированием и визуализацией, мониторингом и обслуживанием, а также эффективностью метавселенной в строительном секторе [16, 54]. Эти связи особенно актуальны для строительной отрасли. Чтобы правильно использовать метавселенную, актуальность этих структур была подчеркнута принятыми теориями. Эти результаты имеют последствия для отраслевых экспертов и лиц, принимающих решения, которые могут расставить приоритеты и улучшить эти области, чтобы максимизировать преимущества метавселенной в строительном секторе. Эти выводы имеют практическое значение для строительной отрасли. Размер выборки и репрезентативность этого исследования слишком малы, чтобы считаться идеальными, что может ограничить применимость результатов к более широкой популяции. В дополнение к этому, зависимость от данных, которые были предоставлены самими респондентами, открывает дверь для потенциальной систематической ошибки в ответах, а также для неточностей измерений.

---

## **6. Заключение**

В заключение, цель нашей рукописи, которая получила название «Успех метавселенной в строительной отрасли», заключалась в исследовании взаимосвязей, которые существуют между коммуникацией и сотрудничеством (CC), проектированием и визуализацией (DV), мониторингом и обслуживанием (MM) и общим успехом метавселенной в строительной отрасли (MSC). В результате изучения и оценки гипотез мы получили важные результаты, которые проливают свет на роль этих структур в достижении успеха с метавселенной в здании. С этими выводами можно ознакомиться ниже. Наши результаты показывают, что коммуникация и сотрудничество, проектирование и визуализация, а также мониторинг и техническое обслуживание вносят существенный вклад в благоприятный результат использования метавселенной в строительном секторе. Это говорит о том, что повышенный уровень эффективной коммуникации и сотрудничества, сложные навыки проектирования и визуализации, а также эффективные практики мониторинга и обслуживания — все это факторы, способствующие более эффективному использованию метавселенной. Это способствует пониманию того, как эти компоненты влияют на принятие и использование метавселенной в строительных проектах, когда мы принимаем гипотезу. Поскольку они подчеркивают области, которые требуют внимания и развития для максимизации преимуществ метавселенной, эти результаты имеют практическое значение для отраслевых экспертов и лиц, принимающих решения. Важно признать недостатки нашего исследования, которые включают в себя вероятность систематических ошибок, вызванных использованием данных, предоставленных самими респондентами, и возможность искажающих факторов, которые не были приняты во внимание. При планировании будущих исследований важно учитывать необходимость преодоления этих ограничений и изучения других конструкций и

элементов, которые могут повлиять на то, насколько хорошо метавселенная работает в строительном бизнесе. В целом, результаты нашего исследования предоставляют эмпирические доказательства в пользу положительной корреляции между коммуникацией и сотрудничеством, проектированием и визуализацией, мониторингом и обслуживанием, а также эффективностью метавселенной в строительном секторе. Эти результаты вносят свой вклад в расширение объема информации об использовании новых технологий в строительстве и могут помочь отраслевым экспертам сделать осознанный выбор для эффективного использования метавселенной. Что касается блокчейна, то в центре нашего анализа находится экосистема метавселенной и то, как она может извлечь выгоду из использования этой технологии децентрализованного реестра. Мы исследуем, как характеристики технологии блокчейн, такие как повышенная безопасность данных, прозрачность и отслеживаемость, могут быть легко интегрированы в приложения метавселенной. Эта интеграция может произвести революцию в транзакционных процессах, повысить доверие между заинтересованными сторонами и защитить целостность виртуальных активов и взаимодействий, что является важной целью. Кроме того, наш анализ погружается в область искусственного интеллекта и исследует революционное влияние, которое он играет в улучшении пользовательского опыта, разработке контента и принятии решений в условиях метавселенной. Сочетание искусственного интеллекта с технологией метавселенных может обеспечить виртуальное взаимодействие с более высоким уровнем интеллекта и гибкости. Из-за этого процессы архитектурного проектирования, моделирования строительства и мониторинга в режиме реального времени, которые используются в архитектурно-строительном бизнесе, могут быть изменены.

Самым захватывающим аспектом нашего исследования является то, что оно погружается в потенциал совместных усилий, которые возникают при конвергенции технологии метавселенной, блокчейна и искусственного интеллекта. Архитектурно-строительная отрасль может извлечь выгоду из новых подходов к решению проблем в области управления проектами, визуализации проекта и анализа на основе данных, если будут установлены связи между этими прорывами. Использование коммуникации, сотрудничества и анализа данных потенциально может быть переосмыслено в результате этого слияния, которое охватывает весь жизненный цикл строительства. В заключение, это исследование вносит вклад в исследования по внедрению технологии метавселенной и в индустрию архитектуры, проектирования и строительства (АЕС). В этом исследовании рассматриваются факторы успеха интеграции технологий метавселенной в секторе архитектуры и строительства, выявляя сложные связи, влияющие на эффективность проекта, совместную работу и визуализацию проекта. Это исследование раскрывает многие элементы внедрения технологии метавселенной, предоставляя практические идеи, которые могут улучшить отрасль архитектурно-строительного строительства. Практики и заинтересованные стороны могут стратегически инвестировать в факторы, определяющие успех технологии метавселенной. Эта парадигма помогает лицам, принимающим решения, вести переговоры о технологической интеграции, улучшении результатов проекта, участии заинтересованных сторон и сотрудничестве. Это исследование также имеет практическую пользу для архитектурно-строительной отрасли. Результаты предлагают способы повышения эффективности проекта, процедур проектирования и мониторинга в режиме реального времени, создавая более гибкий и изобретательный сектор. Это исследование помогает архитектурно-строительной отрасли максимально использовать потенциал технологии метавселенной. В заключение, основной вклад этого исследования находит отклик в академических кругах и кругах АЕС. По мере того, как

технология метавселенной продолжает менять отрасль, эти идеи направляют заинтересованные стороны к будущему, в котором инновации и эффективность сливаются воедино, улучшая результаты проектов и преобразуя искусственную среду. Кроме того, эти результаты вносят вклад в развитие знаний об использовании новых технологий в других отраслях промышленности. Для строительной отрасли становится все более важным использовать перспективы, предлагаемые метавселенной, поскольку строительный сектор продолжает меняться. Результаты этого исследования могут предоставить полезную информацию для стратегического планирования, распределения ресурсов и методов реализации, которые необходимы для обеспечения эффективного включения метавселенной в строительные проекты. Заинтересованные стороны в строительстве могут справиться с проблемами, связанными с метавселенной, и воспользоваться возможностями, которые она предоставляет, если они используют возможности инструментов коммуникации и совместной работы, инструментов проектирования и визуализации, а также инструментов мониторинга и обслуживания. Это, в свою очередь, приводит к улучшению результатов проектов, повышению производительности и повышению конкурентоспособности в отрасли.

### 6.1. Управленческие и эмпирические последствия

Результаты нашего исследования иллюстрируют необходимость эффективной коммуникации и совместных усилий для использования метавселенной для достижения успеха в строительном секторе. В частности, полученные результаты подчеркивают необходимость улучшения коммуникации и совместных усилий. Создание благоприятного для сотрудничества климата, внедрение коммуникационных инструментов и платформ, а также содействие открытому и прозрачному общению между проектными командами должны быть в центре внимания менеджеров и тех, кто руководит проектами. Это может помочь улучшить сотрудничество, обмен информацией и принятие решений, что в конечном итоге может привести к улучшению результатов проекта. Результаты нашего исследования подчеркивают необходимость сложных навыков проектирования и визуализации, чтобы в полной мере использовать потенциал метавселенной. Совершенствование навыков проектирования и визуализации должно быть приоритетом для менеджеров, когда речь идет о расходах на оборудование, программное обеспечение и образование. Профессионалы в области строительства могут создавать иммерсивные проекты, визуализировать проекты в режиме реального времени и выявлять возможные трудности до того, как они возникнут, используя технологии виртуальной и дополненной реальности. Это приводит к повышению точности проектирования и более активному участию заинтересованных сторон.

Исследования подчеркивают, насколько важно иметь надежные процедуры мониторинга и обслуживания, чтобы гарантировать успех метавселенной, когда дело доходит до строительных проектов. Постоянный мониторинг установки метавселенной, отслеживание производительности и упреждающее обслуживание должны быть в приоритете у менеджеров для скорейшего решения любых технических проблем или системных трудностей. Это поможет поддерживать функционирование и надежность платформы метавселенной, обеспечивая бесперебойную работу пользователей и максимизируя преимущества, получаемые от использования платформы. Эмпирические данные, представленные в нашем исследовании, демонстрируют положительную корреляцию между коммуникацией и сотрудничеством, проектированием и визуализацией, мониторингом и обслуживанием, а также успехом

метавселенной в строительной отрасли. Эти позитивные взаимодействия необходимы для успеха метавселенной в строительной отрасли. Как упоминалось ранее, эти результаты дополняют эмпирические знания о том, как конструкции влияют на принятие и использование метавселенной. В будущем исследователи могут расширить эти результаты, проведя идентичные исследования в различных условиях и областях, чтобы оценить, в какой степени обнаруженные связи могут быть обобщены.

Эмпирические результаты подчеркивают необходимость оценки и совершенствования на постоянной основе использования технологии метавселенной в строительном секторе. В различных контекстах строительства исследователи могут проводить дополнительные исследования элементов, влияющих на успех коммуникации и совместной работы, проектирования и визуализации, а также мониторинга и обслуживания. Это может дать представление об определенных тактиках и практиках, которые усиливают влияние этих структур на успех метавселенной, что позволяет постоянно развиваться и оптимизироваться. Несмотря на то, что акцент в нашем исследовании был сделан на трех основных конструкциях, дополнительные аспекты метавселенной могут способствовать ее успеху в строительном бизнесе. В будущих исследованиях могут быть изучены другие структуры, такие как подходы к управлению проектами, приемлемость для пользователей, безопасность данных или вовлечение заинтересованных сторон, чтобы получить более глубокие и полные знания о сложной динамике. Изучив эти переменные, можно получить представление о сложном и многомерном характере использования метавселенной в здании.

Управленческие последствия нашего исследования подчеркивают важность развития коммуникации и сотрудничества, инвестирования в навыки проектирования и визуализации, а также совершенствования методов мониторинга и обслуживания для максимизации эффективности метавселенной при создании проектов. Из-за практических последствий необходимо провести дальнейшие исследования, чтобы проверить и развить наши результаты, оценить их применение в различных обстоятельствах и изучить дополнительные элементы, влияющие на развитие метавселенной. Если игроки строительной отрасли готовы принять эти последствия, они смогут лучше ориентироваться в среде метавселенной и использовать ее потенциал для улучшения результатов проектов и развития в секторе.

## 6.2. Ограничения и рекомендации

Размер выборки и репрезентативность этого исследования слишком малы, чтобы считаться идеальными, что может ограничить применимость результатов к более широкой популяции. В дополнение к этому, зависимость от данных, которые были предоставлены самими респондентами, открывает дверь для потенциальных систематических ошибок в ответах, а также неточностей измерений.

В будущих исследованиях следует попытаться включить более крупные и разнообразные выборки, чтобы повысить их обобщаемость и устранить выявленные ограничения. Достоверность результатов может быть улучшена путем объединения данных самоотчетов с данными объективных измерений или путем использования различных источников данных. Кроме того, проведение лонгитюдных исследований и изучение других факторов позволит лучше понять динамику и последствия, которые делятся дольше. Сравнительные исследования, охватывающие многие секторы или

регионы, могут дать полезную информацию об элементах, характерных для отрасли, и помочь в разработке специализированных стратегий.

---

#### Доступность данных

Данные недоступны для публичного или частного доступа.

---

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов в связи с публикацией данной статьи.

## References

1. Z. Yan, "A comprehensive overview of the fundamental and applications of metaverse," SHS Web of Conferences, vol. 148, 2022.  
View at: [Google Scholar](#)
2. Z. Liu, Z. Yang, M. Liang, Y. Liu, M. Osmani, and P. Demian, "A conceptual framework for blockchain enhanced information modeling for healing and therapeutic design," International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 19, no. 13, p. 8218, 2022.  
View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
3. X. Huang, H. X. Wang, X. Gu, Y. Meng, and H. Y. Wang, "A new 3D point clouds feature selection method using specific outliers optimization," Journal Graphics, vol. 10, 2022.  
View at: [Google Scholar](#)
4. S. M. Park and Y. G. Kim, "A metaverse: taxonomy, components, applications, and open challenges," IEEE Access, vol. 12, 2022.  
View at: [Google Scholar](#)
5. J. Ho Kim, B. Sung Lee, and S. Jhin Choi, "A study on metaverse construction and use cases for non-face-to-face education," The journal of the convergence on culture technology, vol. 78, 2022.  
View at: [Google Scholar](#)
6. A. Waqar, A. Hannan Qureshi, I. Othman, N. Saad, and M. Azab, "Exploration of challenges to deployment of blockchain in small construction projects," Ain Shams Engineering Journal, vol. 20, Article ID 102362, 2023.  
View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
7. A. Waqar, I. Othman, N. Shafiq, and H. Altan, "Sustainability modeling the effect of overcoming the barriers to passive design implementation on project sustainability building success: a structural equation modeling perspective," Sustainability, vol. 15, 2023.  
View at: [Google Scholar](#)
8. H. Tahir, "Optimisation of mechanical characteristics of alkali-resistant glass fibre concrete towards sustainable construction," Sustainability, vol. 15, 2023.  
View at: [Google Scholar](#)
9. M. Sajjad, "Evaluation of the success of industry 4.0 digitalization practices for sustainable construction management: Chinese construction industry," Buildings, vol. 13, no. 7, p. 1668, 2023.  
View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
10. M. Khan, "Effects of jute fiber on fresh and hardened characteristics of concrete with environmental assessment," Buildings, vol. 13, no. 7, p. 1691, Jun 2023.  
View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
11. K. Liu, L. Chen, L. Li, H. Ren, and F. Y. Wang, "Metamining: mining in the metaverse," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Systems, vol. 12, 2023.  
View at: [Google Scholar](#)
12. W. J. Choi, S. J. Heo, S. Na, and C. K. Kim, "A study on the direction of application of metaverse in the construction industry," in Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference, Seoul, South Korea, June 2022.  
View at: [Google Scholar](#)

13. J. Choi and S. Lee, "A suggestion of the alternatives evaluation method through ifc-based building energy performance analysis," *Sustain*, vol. 58, 2023.  
View at: [Google Scholar](#)
14. J. R. Rameshwar and G. King, "Analysis of caribbean xr survey creates an xr development strategy as a path to the regional metaverse evolution," *Journal Metaverse*, vol. 11, 2023.  
View at: [Google Scholar](#)
15. J. Huang, P. Sun, and W. Zhang, "Analysis of the future prospects for the metaverse," in *Proceedings of the 2022 7th International Conference on Financial Innovation and Economic Development (ICFIED 2022)*, Harbin, China, July 2022.  
View at: [Google Scholar](#)
16. A. Waqar, I. Othman, N. Shafiq, and M. S. Mansoor, "Applications of AI in oil and gas projects towards sustainable development: a systematic literature review," *Artificial Intelligence Review*, vol. 48, pp. 1–28, 2023.  
View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
17. T. Huynh-The, Q. V. Pham, X. Q. Pham, T. T. Nguyen, Z. Han, and D. S. Kim, "Artificial intelligence for the metaverse: a survey," *Engineering Applications Of Artificial Intelligence*, vol. 98, 2023.  
View at: [Google Scholar](#)
18. A. Waqar, M. B. Khan, N. Shafiq, K. Skrzypkowski, K. Zagórski, and A. Zagórska, "Assessment of challenges to the adoption of IOT for the safety management of small construction projects in Malaysia: structural equation modeling approach," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 5, p. 3340, 2023.  
View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
19. A. Waqar, "Assessment of barriers to robotics process automation (RPA) implementation in safety management of tall buildings," *Buildings*, vol. 13, no. 7, p. 1663, Jun 2023.  
View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
20. J. Wu, H. Chen, and C. He, "Metaverse:the digital-real fusion space of the smart library," *Journal of Library Science in China*, vol. 12, 2022.  
View at: [Google Scholar](#)
21. G. Nichols, "Augmented and virtual reality mean business: everything you need to know an executive guide to the technology and market drivers behind the hype in ar," *VR, and MR*, vol. 45, 2018.  
View at: [Google Scholar](#)
22. A. Waqar, A. H. Qureshi, and W. S. Alaloul, "Barriers to building information modeling (bim) deployment in small construction projects: malaysian construction industry," *Sustain*, vol. 11, 2023.  
View at: [Google Scholar](#)
23. P. Treleaven, "BIM 3.0: Web3.0," *DeFi and the Metaverse*, vol. 23, 2022.  
View at: [Google Scholar](#)
24. A. Waqar, "Effect of coir fibre ash (cfa) on the strengths, modulus of elasticity and embodied carbon of concrete using response surface methodology (rsm) and optimization," *Results English*, vol. 16, 2023.  
View at: [Google Scholar](#)

25. A. Waqar, I. Othman, and K. Skrzypkowski, "Evaluation of Success of Superhydrophobic Coatings in the Oil and Gas Construction Industry Using Structural," *Coatings*, vol. 11, 2023.  
View at: [Google Scholar](#)
26. A. Waqar, "Success of implementing cloud computing for smart development in small construction projects," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 9, p. 5713, 2023.  
View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
27. M. Baghalzadeh Shishehgarkhaneh, A. Keivani, R. C. Moehler, N. Jelodari, and S. Roshdi Laleh, "Internet of things (iot), building information modeling (bim), and digital twin (dt) in construction industry: a review, bibliometric, and network analysis," *Buildings*, vol. 55, 2022.  
View at: [Google Scholar](#)
28. L. Bian, R. Xiao, Y. Lu, and Z. Luo, "Construction and design of food traceability based on blockchain technology applying in the metaverse," *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 56, 2022.  
View at: [Google Scholar](#)
29. Y. Chen, X. Wang, Z. Liu, J. Cui, M. Osmani, and P. Demian, "Exploring building information modeling (bim) and internet of things (iot) integration for sustainable building," *Buildings*, vol. 65, 2023.  
View at: [Google Scholar](#)
30. R. Chengoden, "Metaverse for healthcare: a survey on potential applications, challenges and future directions," *IEEE Access*, vol. 32, 2023.  
View at: [Google Scholar](#)
31. A. Kanak, I. Arif, C. Terzibas, O. F. Demir, and S. Ergun, "BIMyVerse: towards a semantic interpretation of buildings in the city and cities in the universe," in *Proceedings of the Conference Proceedings- IEEE International Conference on Systems*, Yasmine Hammamet, Tunisia, August 2022.  
View at: [Google Scholar](#)
32. T. Huynh-The, "Blockchain for the Metaverse: A Review," *Future Generation Computer Systems*, vol. 10, 2023.  
View at: [Google Scholar](#)
33. Z. Liu, P. Li, F. Wang, M. Osmani, and P. Demian, "Building information modeling (BIM) driven carbon emission reduction research: a 14-year bibliometric analysis," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 19, p. 12820, 2022.  
View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
34. Z. Lv, S. Xie, Y. Li, M. Shamim Hossain, and A. El Saddik, "Building the Metaverse by Digital Twins at All Scales, State, Relation," *Virtual Reality And Intelligent Hardware*, vol. 20, 2022.  
View at: [Google Scholar](#)
35. M. B. Khan, A. Waqar, N. Bheel et al., "Optimization of fresh and mechanical characteristics of Carbon Fiber-Reinforced concrete composites using response surface technique," *Buildings*, vol. 13, p. 852, 2023.  
View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
36. A. Waqar and I. Othman, "Challenges to the implementation of bim for the risk management of oil and gas construction projects: structural equation modeling approach sustainability

challenges to the implementation of bim for the risk management of oil and gas construction project," *Sustainability*, vol. 15, 2023.

View at: [Google Scholar](#)

37. L. Fang and H. Shen, "Changes in technology and civilization—a conceptual study of the metaverse," *Metaverse*, vol. 65, 2021.

View at: [Google Scholar](#)

38. N. A. Dahan, M. Al-Razgan, A. Al-Laith, M. A. Alsoufi, M. S. Al-Asaly, and T. Alfakih, "Metaverse framework: a case study on e-learning environment (elem)," *Electron*, vol. 12, 2022.

View at: [Google Scholar](#)

39. Y. Hu and H. Chen, "The trend of industrial design from the perspective of metaverse," *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 10, 2022.

View at: [Google Scholar](#)

40. Y. Chen, D. Huang, Z. Liu, M. Osmani, and P. Demian, "Construction 4.0, industry 4.0, and building information modeling (bim) for sustainable building development within the smart city," *Sustain*, 2022.

View at: [Google Scholar](#)

41. M. Saker and J. Frith, "Contiguous identities: the virtual self in the supposed metaverse," *First Monday*, vol. 52, 2022.

View at: [Google Scholar](#)

42. PWC, *Demystifying the Metaverse*, pwc, 2022.

43. A. Waqar, "Effect of volcanic pumice powder ash on the properties of cement concrete using response surface methodology," *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, vol. 8, no. 1, 2023.

View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)

44. X. Wang, J. Wang, C. Wu, S. Xu, and W. Ma, "Engineering brain: metaverse for future engineering," *AI in Civil Engineering*, vol. 20, 2022.

View at: [Google Scholar](#)

45. A. Waqar, I. Othman, H. Almujiabah, M. B. Khan, S. Alotaibi, and A. A. M. Elhassan, "Factors influencing adoption of digital twin advanced technologies for smart city development: evidence from malaysia," *Buildings*, vol. 32, 2023.

View at: [Google Scholar](#)

46. H. Huang, X. Zeng, L. Zhao, C. Qiu, H. Wu, and L. Fan, "Fusion of building information modeling and blockchain for metaverse: a survey," *IEEE Open Journal Computer Social*, vol. 52, 2022.

View at: [Google Scholar](#)

47. Q. Sun, Y. Xu, Y. Sun, C. Yao, J. S. A. Lee, and K. Chen, "Gn-cnn: a point cloud analysis method for metaverse applications," *Electron*, vol. 20, 2023.

View at: [Google Scholar](#)

48. X. Zhao and Q. Lu, "Governance of the metaverse: a vision for agile governance in the future data intelligence world," *The Journal of The Library Science in China*, 2022.

View at: [Google Scholar](#)

49. P. Zhang, "IEEE draft standard for spectrum characterization and occupancy sensing," *IEEE Access*, vol. 12, 2019.

View at: [Google Scholar](#)

50. A. Waqar, I. Othman, and J. C. Pomares, "Impact of 3D printing on the overall project success of residential construction projects using structural equation modelling," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 20, no. 5, p. 3800, 2023.  
View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
51. G. Wang and C. Shin, "Influencing factors of usage intention of metaverse education application platform: empirical evidence based on ppm and tam models," *Sustain*, vol. 13, 2022.  
View at: [Google Scholar](#)
52. C. T. Nguyen, D. T. Hoang, D. N. Nguyen, and E. Dutkiewicz, "Metachain: a novel blockchain-based framework for metaverse applications," *IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 20, 2022.  
View at: [Google Scholar](#)
53. Y. Zhao, "Metaverse: perspectives from graphics, interactions and visualization," *Visual Informatics*, vol. 6, no. 1, pp. 56–67, 2022.  
View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
54. M. Khan, "Optimization of fresh and mechanical characteristics of carbon fiber-reinforced concrete composites using response surface technique," *Buildings*, vol. 13, 2023.  
View at: [Google Scholar](#)
55. A. Waqar, I. Othman, N. Shafiq, and H. Altan, "Modeling the effect of overcoming the barriers to passive design implementation on project sustainability building success: a structural equation modeling perspective sustainability modeling the effect of overcoming the barriers to passive design implement," *Sustainability*, vol. 13, 2023.  
View at: [Google Scholar](#)
56. J. Lin, "On the innovative design of digital media under the background of the metaverse," in *Proceedings of the 2022 International Conference on Comprehensive Art and Cultural Communication (CACC 2022)*, Chongqing, China, June 2022.  
View at: [Google Scholar](#)
57. J. N. Njoku, C. I. Nwakanma, G. C. Amaizu, and D. S. Kim, "Prospects and challenges of metaverse application in data-driven intelligent transportation systems," *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 52, 2023.  
View at: [Google Scholar](#)
58. X. Duan and C. Chen, "The construction and exploration of spatial narrative under the ken of metaverse," *Journal of Intelligent Communication*, vol. 2, no. 1, 2022.  
View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
59. X. Wang, T. Shi, W. Bai, K. Peng, J. Li, and Y. Shi, "The research of metaverse application in intelligent railway passenger station," *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 20, 2022.  
View at: [Google Scholar](#)
60. P. Kwok, J. Chen, and J. Fung, "Two-way knowledge transfer among university academics, young entrepreneurs, ngos and students in stem and iot metaverses: conceptual model," *Researchgate Net*, vol. 25, 2022.  
View at: [Google Scholar](#)

61. M. Sadeghi, A. Mahmoudi, and X. Deng, "Blockchain technology in construction organizations: risk assessment using trapezoidal fuzzy ordinal priority approach," *Engineering Construction and Architectural Management*, vol. 30, no. 7, pp. 2767–2793, 2022.  
View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
62. M. Sadeghi, A. Mahmoudi, and X. Deng, "Adopting distributed ledger technology for the sustainable construction industry: evaluating the barriers using Ordinal Priority Approach," *Environmental Science & Pollution Research*, vol. 29, no. 7, pp. 10495–10520, 2022.  
View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
63. A. Mahmoudi, M. Sadeghi, and X. Deng, "Performance measurement of construction suppliers under localization, agility, and digitalization criteria: fuzzy Ordinal Priority Approach," *Environment, Development and Sustainability*, vol. 456, pp. 1–26, 2022.  
View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)
64. A. Mahmoudi, M. Sadeghi, and L. Naeni, "Blockchain and supply chain finance for sustainable construction industry: ensemble ranking using Ordinal Priority Approach," *Operations Management Research*, vol. 44, 2023.  
View at: [Publisher Site](#) | [Google Scholar](#)