

УДК 004.92:684.7

**И. А. Латышевич, В. А. Останин**

Белорусский государственный технологический университет

**СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРОТОТИПОВ  
ИЗДЕЛИЙ МЕБЕЛИ ДЛЯ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ (ОБЗОР)**

Иммерсивные технологии активно используются различными отраслями промышленности, и деревообрабатывающая не стала исключением. Они позволяют наглядно осуществлять проверку проектируемого объекта, выявлять ошибки на ранних стадиях проектирования, а также проводить обучение молодого специалиста, что приводит к значительному снижению временных и энергетических затрат, исключает риски аварии или поломки дорогостоящего оборудования, при этом повышает скорость работы и качество проектирования. Дополненная реальность дает возможность визуализировать мебель в реальном пространстве, сохраняя ее размеры, форму и цвет.

Целью данного исследования является изучение процесса создания виртуальных прототипов изделий мебели для дополненной реальности.

Полученные в ходе научного исследования данные позволили осуществить комплексный анализ процесса создания виртуальных прототипов изделий мебели для дополненной реальности, а также установить, что для разработки AR-проекта наиболее подходящими программами из перечисленных являются Autodesk Inventor и Autodesk 3ds Max.

Использование Autodesk Inventor для создания базовых 3D-моделей и Autodesk 3ds Max для более сложных и детализированных объектов дает возможность построить комплексную и реалистичную 3D-среду, которую можно будет интегрировать в Unity для создания увлекательного AR-приложения. Научное исследование, несомненно, имеет практическую значимость для мебельной промышленности. Оно позволяет создавать более эффективные и качественные AR-приложения для визуализации мебели в реальном пространстве. При этом наблюдается усовершенствование процесса разработки, производства и продажи мебели, а также улучшение взаимодействия между производителями и потребителями.

**Ключевые слова:** иммерсивные технологии, виртуальная реальность, дополненная реальность.

**Для цитирования:** Латышевич И. А., Останин В. А. Способы создания виртуальных прототипов изделий мебели для дополненной реальности (обзор) // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 194–204.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-21.

**I. A. Latyshevich, V. A. Ostanin**

Belarusian State Technological University

**WAYS TO CREATE VIRTUAL PROTOTYPES OF FURNITURE PRODUCTS  
FOR AUGMENTED REALITY (REVIEW)**

Immersive technologies are actively used by various industries, and woodworking is no exception. They allow you to visually check the designed object, identify errors at the early stages of design, and also train a young specialist, which leads to a significant reduction in time and energy costs, eliminates the risk of an accident or breakdown of expensive equipment, while increasing the speed of work and the quality of design. Augmented reality makes it possible to visualize furniture in real space, preserving its size, shape and color.

The purpose of this study is to study the process of creating virtual prototypes of furniture products for augmented reality.

The data obtained during the scientific study made it possible to carry out a comprehensive analysis of the process of creating virtual prototypes of furniture products for augmented reality, and also to establish that the most suitable programs for developing an AR project from the listed ones are Autodesk Inventor and Autodesk 3ds Max. Using Autodesk Inventor to create basic 3D models and Autodesk 3ds Max for more complex and detailed objects makes it possible to build a comprehensive and realistic 3D environment that can be integrated into Unity to create an engaging AR application. The research certainly has practical implications for the furniture industry. It allows for the creation of more efficient and high-quality AR applications for visualizing furniture in real space. At the same time, there is an improvement in the process of developing, producing and selling furniture, as well as improving the interaction between manufacturers and consumers.

**Keywords:** immersive technologies, virtual reality, augmented reality.

**For citation:** Latyshevich I. A., Ostanin V. A. Ways to create virtual prototypes of furniture products for augmented reality (review). *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 194–204 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-21.

**Введение.** В современном мире технологии виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности, так называемые иммерсивные технологии, нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Деревообрабатывающая промышленность не стала исключением.

В начале XXI в. данные технологии были доступны только корпорациям мирового уровня, таким как авиа- и машиностроение. Это было обусловлено высокой стоимостью и сложностью в эксплуатации специального оборудования [1, 2]. Однако высокие темпы развития материально-технического оснащения предприятий существенно расширили область применения иммерсивных технологий [3].

Основными задачами при проектировании мебели с использованием данных технологий является возможность наглядного осуществления проверки своего объекта и выявление ошибок на ранних стадиях проектирования, а также обучение молодого специалиста. Перечисленные аспекты позволяют значительно снизить временные и энергетические затраты, риски аварии или поломки дорогостоящего оборудования, при этом повысить скорость работы и качество проектирования [4–6].

AR позволяет пользователям визуализировать мебель в реальном пространстве, обеспечивая более точное представление о ее размерах, форме и цвете, а также о том, как она будет смотреться в конкретном интерьере [7, 8].

Проанализировав результаты применения VR в мировой практике, можно сделать вывод, что многим мировым предприятиям удалось сэкономить до 12 месяцев от общего времени на разработку проекта и на 90% избавиться от эргономических проблем (обеспечение удобства работы и безопасности персонала на высоком уровне) [9–11].

Современным подходом в разработке новой продукции, представляющим собой инновационные технологии воспроизведения виртуального образа изделия, является виртуальное прототипирование [12, 13].

Целью данного исследования является изучение процесса создания виртуальных прототипов изделий мебели для дополненной реальности.

**Оновная часть.** Виртуальное прототипирование (Virtual Prototyping) – это методология работы в виртуальной реальности с инженерной 3D-моделью изделия. Оно позволяет проверять и оптимизировать конструкции в виртуальной сре-

де, что значительно сокращает время и затраты на создание физических прототипов [14, 15].

Прототипирование заключается в использовании программного обеспечения (ПО) для автоматизированного проектирования (CAD), компьютерно-автоматизированного проектирования (CAutoD) и автоматизированного проектирования (CAE) для проверки проекта. При этом осуществляется создание сгенерированных компьютером геометрических форм (деталей), объединение их в сборку, тестирование различных механических движений, подгонка и функционирование. Сборка или отдельные детали мебели могут быть открыты в программном обеспечении CAE как цифровые двойники для имитации поведения продукта в реальном мире [16].

Создание виртуальных прототипов мебели для AR начинается со сбора достоверных данных о конкретных изделиях [17, 18]. Этот этап занимает ключевую позицию в точном воссоздании модели в виртуальной среде и обеспечивает высокое качество визуализации.

Следует выделить следующие способы сбора данных в мебельном производстве.

1. Фотографии и сканирование: для этого способа характерно использование фотографирования и сканирования реальных предметов мебели. Современные технологии сканирования позволяют создавать точные трехмерные модели, которые затем используют в виртуальных прототипах.

2. CAD-модели, которые являются основой для создания виртуальных прототипов. К недостаткам способа следует отнести проведение дополнительной работы по оптимизации моделей для использования в AR-приложениях.

3. Специализированные приложения: в конкретном способе применяют приложения и устройства, специально разработанные для создания трехмерных моделей изделий. Они часто включают в себя функции сканирования и редактирования, что делает процесс создания виртуальных прототипов более доступным [19–22].

Выбор подходящего способа сбора данных зависит от конкретных потребностей и возможностей производителя изделий. Критически важно обеспечить высокую точность и качество данных, чтобы виртуальные прототипы могли полностью отражать реальные изделия и обеспечивать удовлетворительный пользовательский опыт в AR.

Следующим этапом в виртуальном прототипировании для мебельного производства является

создание трехмерной модели, которая будет использована для AR. Этот этап требует тщательной работы и внимания к деталям с целью обеспечения точного и реалистичного воссоздания изделий [17].

Процесс разработки трехмерной модели состоит из следующих ключевых этапов.

1. Подготовка данных: проводится предварительная обработка данных при использовании фотографий или сканированных объектов, при этом удаляют ненужные элементы, осуществляют коррекцию перспективы и проводят дополнительные манипуляции для улучшения качества.

2. Моделирование: создается цифровая модель мебели с применением специализированного ПО, такого как Blender, Autodesk 3ds Max или SketchUp, с целью создания формы, текстуры и других деталей мебельного изделия.

3. Оптимизация: осуществляют уменьшение числа полигонов и оптимизацию текстур с целью снижения нагрузки на систему и улучшения скорости работы приложения.

4. Добавление дополнительных деталей: для создания более реалистичных и привлекательных виртуальных прототипов в зависимости от требований проекта используют дополнительные детали, такие как декоративные элементы, фурнитуру или даже анимацию.

5. Тестирование и итерации: после завершения моделирования проводится тестирование виртуального прототипа на соответствие ожиданиям и качеству визуализации. При запросе заказчика осуществляют итерацию и коррекцию для достижения желаемого результата.

Разработка трехмерной модели является фундаментальным этапом в создании виртуальных прототипов мебели для AR и определяет конечное визуальное впечатление пользователей. Тщательное выполнение описанного выше этапа гарантирует высокое качество и удовлетворение от использования AR-приложений в дизайне мебели [23–26].

После создания трехмерной модели мебели изделие интегрируется в приложение AR. Этот этап включает в себя техническую реализацию и разработку пользовательского интерфейса для удобного взаимодействия с виртуальными прототипами.

Ключевыми аспектами интеграции моделей мебели в AR-приложения являются следующие.

1. Выбор платформы: перед началом разработки необходимо определить целевую платформу для приложения AR. Это могут быть мобильное устройство (iOS или Android), AR-очки и др. Каждая платформа имеет свои особенности, которые нужно учитывать при разработке.

2. Программирование: разработка функционала AR включает в себя программирование с

использованием специализированных AR-фреймворков, таких как ARKit для iOS или ARCore для Android. Эти инструменты предоставляют Application Programming Interface (API) для работы с трехмерными моделями, отслеживания местоположения и других аспектов AR [27, 28].

3. Отображение модели: важным шагом является правильное отображение трехмерной модели мебели в AR-приложении. Оно включает в себя корректное масштабирование и позиционирование модели в реальном пространстве, а также учет освещения и теней для создания реалистичного визуального эффекта.

4. Интерактивность: для улучшения модели добавляются интерактивные элементы, такие как изменение цвета или конфигурации мебели, анимация при взаимодействии. Все это позволяет создать виртуальные прототипы более функциональными.

5. Тестирование и оптимизация: после завершения разработки проводится тестирование приложения, а также его оптимизация для обеспечения плавного и стабильного функционирования на различных устройствах и при разных условиях использования.

Интеграция моделей мебели в AR-приложения открывает новые возможности для визуализации и взаимодействия с мебелью в виртуальной среде. Правильная реализация этого этапа обеспечивает удобство использования приложений и удовлетворение потребностей пользователей [29, 30].

Актуальными ПО, которые в настоящее время используются для создания виртуального прототипа, являются Blender, Autodesk Maya, Autodesk 3ds Max, SketchUp, Rhinoceros 3D, Cinema 4D, SolidWorks, Fusion 360, ZBrush, Modo, Houdini, Daz Studio, Substance Designer, Substance Painter, Marvelous Designer, LightWave 3D, Vectary, Clara.io, SculptGL, MODO, 3D-Coat, Wings 3D, FreeCAD, Tinkercad, AutoCAD, Autodesk Inventor, Revit, CATIA, ArchiCAD, MODO Design 3D, RhinoGold, BlenderBIM, Vectr, Morphi, BricCAD, DesignSpark Mechanical, PTC Creo, Siemens NX, KeyCreator, Onshape, TurboCAD, Pro/ENGINEER, CADMATE, Shapr3D, Design Doll, Sweet Home 3D, DesignCAD 3D Max, DraftSight, FreeCAD, HomeByMe.

Выделим наиболее распространенные ПО, задействованные в процессе дизайна и конструирования мебельной продукции, рассмотрим их преимущества и недостатки.

Blender – профессиональное свободное и открытое программное обеспечение для создания трехмерной компьютерной графики, включающее в себя средства моделирования, скульптинга, анимации, симуляции, рендеринга, постобработки и монтажа видео со звуком, компоновки с помощью «узлов», а также создания 2D-анимаций.

В настоящее время пользуется большой популярностью среди бесплатных 3D-редакторов в связи с его быстрым стабильным развитием и технической поддержкой. Blender основан на сетке и больше подходит для графических приложений и работы с органическими моделями, в нем не работают с (истинными) 3D-объектами, а взаимодействуют с сетками, внутренняя часть которых полая. Характерной особенностью пакета Blender является его небольшой размер по сравнению с другими популярными пакетами для 3D-моделирования [31, 32].

Blender может оперировать системами частиц, контролировать вес отдельных частиц при текстурировании, применять направляющие при анимации и использовать внешние силы, например ветер. Кроме того, в программе имеется симулятор флюидов, который открывает перед пользователем огромные возможности по созданию эффектов текучих тел, таких как дым или жидкости. В режиме реального времени пользователь может просчитывать физические задачи, например моделировать поведение мягких тел. В Blender большое количество модификаторов [33, 34].

Следует выделить основные преимущества и недостатки описанного ПО.

Преимущества программы Blender:

- доступность: распространяется бесплатно и доступна для скачивания на любой платформе (Windows, macOS, Linux);
- многофункциональность: охватывает широкий спектр задач в 3D-графике, включая моделирование, текстурирование, анимацию, рендеринг, композитинг и создание видео;
- открытый исходный код: является open-source-проектом. Разработчики и сообщество могут внести свой вклад в развитие и улучшение программы;
- кроссплатформенность: работает на различных операционных системах, что облегчает обмен проектами и совместную работу;
- высокая производительность: обладает мощными возможностями рендеринга и анимации, что позволяет создавать высококачественные 3D-проекты.

Недостатки программы Blender:

- небольшой выбор плагинов и расширений: в сравнении с некоторыми коммерческими 3D-редакторами имеет меньший набор доступных плагинов и расширений;
- ограниченная поддержка некоторых форматов: не всегда идеально совместима с некоторыми распространенными файловыми форматами;
- сложность настройки: предлагает множество параметров и настроек, что может потребовать больше времени на установку проекта;
- отсутствие официальной сертификации: в отличие от некоторых коммерческих продуктов

не предлагает официальных сертификатов или учебных программ.

Несмотря на эти недостатки, Blender остается одним из наиболее мощных и популярных бесплатных 3D-редакторов, предлагающих широкие возможности для творчества и профессиональной работы.

AutoCAD – это система автоматизированного проектирования, которая является мировым лидером среди графических программ для 2D- и 3D-проектирования [35]. Первая версия этой программы была разработана компанией Autodesk и выпущена в 1982 г. Программа выпускается на 18 языках. Уровень локализации варьируется от полной адаптации до перевода только справочной документации. Она доступна на операционных системах семейства Microsoft Windows и macOS, а мобильное приложение на системах iOS и Android. Основным языком программирования в программном продукте AutoCAD является язык AutoLISP, впервые появившийся в 1986 г. в промежуточной версии 2.18. AutoLISP – диалект языка LISP, обеспечивающий широкие возможности для автоматизации работы в AutoCAD. В этом языке реализовано тесное взаимодействие с командной строкой, что позволяет разработчикам и пользователям писать функции и макропрограммы [35].

AutoCAD также имеет ряд преимуществ и недостатков.

Преимущества программы AutoCAD:

- широкая функциональность: AutoCAD предоставляет широкий спектр инструментов для 2D- и 3D-проектирования, черчения, моделирования, визуализации и т. д.;
- высокая точность и детализация: позволяет создавать точные и детализированные чертежи с возможностью использования различных масштабов;
- совместимость: работает с большим количеством файловых форматов, что облегчает обмен данными с другими программами и специалистами;
- расширяемость: может быть расширена с помощью специализированных надстроек и приложений, что позволяет адаптировать ее под конкретные потребности пользователя.
- широкое признание в отрасли: является стандартом во многих областях проектирования.

Недостатки программы AutoCAD:

- сложность освоения: имеет довольно некачественную систему обучения, что может быть проблемой для начинающих пользователей;
- высокая стоимость: лицензия на AutoCAD, особенно на профессиональные версии, достаточно дорогая;
- требовательность к ресурсам: предъявляет высокие требования к аппаратному обеспечению, особенно при работе с тяжелыми 3D-моделями;

– ограниченность базовых функций: для выполнения некоторых задач могут потребоваться дополнительные модули или надстройки, что увеличивает общую стоимость;

– сложность интеграции с другими системами: объединение с некоторыми специализированными САПР-системами может быть трудоемким и требовать дополнительных усилий [36].

В целом AutoCAD остается одним из ведущих САПР-решений, особенно в области архитектуры, строительства, машиностроения и других инженерных дисциплин. Выбор AutoCAD зависит от конкретных требований и бюджета организации.

SketchUp – программа, которой пользуются как студенты вузов, так и серьезные проектные организации, и фрилансеры. «Конек» SketchUp – эскизное проектирование различных объектов. Этой программой очень удобно пользоваться на начальном этапе проектирования, когда надо быстро и доступно показать общий объем и идею проектируемого объекта. В процессе работы понадобится лишь создать с помощью фигур и линий общие объемы и наложить на них необходимые текстуры. Эта работа быстра в исполнении, также на этом этапе можно настроить источники света. Процесс проектирования в программе очень прост и отчасти схож с рисунком на листе бумаги. Однако получаемый в итоге результат может быть вполне реалистичным. Если при этом пользоваться программой Photoshop, можно получить вполне качественную визуализацию готового проекта. Для этого надо лишь доработать модель в фотошопе, добавить реалистичные объекты, людей, растения, сделать тени и текстуры.

Следует отметить, что готовые проекты SketchUp сохраняются в формате \*.skp. Программой также поддерживается импорт и экспорт других форматов двумерной растровой и трехмерной графики, таких как \*.3ds, \*.dwg, \*.ddf; \*.jpg, \*.png, \*.bmp, \*.psd, \*.obj. Импорт растровой графики имеет несколько возможностей: вставка образа в качестве отдельного объекта, текстуры и основы для восстановления трехмерного объекта по фотографии [37–39].

Для данного ПО характерны свои преимущества и недостатки.

Преимущества программы SketchUp:

– простота использования: имеет интуитивно понятный интерфейс и инструменты, которые легко освоить даже начинающим пользователям;

– быстрое моделирование: благодаря инструментам для быстрого построения геометрии, позволяет в краткие сроки создавать 3D-модели;

– широкие возможности: предлагает широкий спектр инструментов для моделирования, текстурирования, визуализации и анимации;

– интеграция с другими приложениями: может импортировать и экспортировать файлы различных форматов, что позволяет интегрировать ее с другими программами;

– наличие онлайн-библиотек: доступно большое количество бесплатных 3D-моделей, текстур и плагинов.

Недостатки программы SketchUp:

– ограниченные возможности при сложном моделировании: хороша для быстрого моделирования простых форм;

– недостаточная точность: не предназначена для высокоточного инженерного моделирования, поэтому может быть менее точной, чем другие САПР-системы;

– ограниченные возможности визуализации: встроенные инструменты визуализации имеют ограниченные возможности по сравнению со специализированными программами;

– отсутствие возможности параметрического моделирования: не поддерживает параметрическое моделирование, что может быть ограничением для некоторых проектов;

– платная версия для профессионального использования: базовая версия бесплатна, но для профессионального использования требуется покупка лицензии [40].

В целом SketchUp является отличным выбором для быстрого 3D-моделирования, особенно для архитектуры, дизайна интерьеров и других подобных задач. Однако при работе с более сложными инженерными проектами могут потребоваться другие САПР-системы.

Autodesk 3ds Max – это программное обеспечение для 3D-моделирования, анимации и рендеринга, разработанное компанией Autodesk. Оно широко используется в различных отраслях, таких как архитектура, дизайн интерьеров, киноиндустрия и видеоигры. Благодаря своим обширным возможностям и гибкости Autodesk 3ds Max является незаменимым инструментом для профессионалов [41].

Autodesk 3ds Max предлагает широкий набор инструментов для создания сложных 3D-моделей. Среди них полигональное моделирование, которое позволяет создавать модели с высокой детализацией. Этот метод моделирования основан на использовании многоугольников (полигонов) для создания сложных форм и структур. Полигональное моделирование является одним из самых популярных методов в 3D-графике благодаря своей гибкости и точности; NURBS-моделирование применяется для создания гладких и органических форм. NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) позволяет создавать модели с использованием кривых и поверхностей, что делает его идеальным для создания объектов с плавными и органическими формами, таких как автомобили или

персонажи. Сплайны – это кривые, которые могут быть использованы для создания сложных геометрических форм и поверхностей. Этот метод моделирования особенно полезен для создания архитектурных элементов и декоративных деталей.

Autodesk 3ds Max поддерживает различные рендер-движки, такие как Arnold, который обеспечивает высокое качество изображения. Он известен своей способностью создавать фотореалистичные изображения и поддерживает множество передовых технологий, таких как глобальное освещение и трассировка лучей; V-Ray – популярный рендер-движок, известный своей скоростью и качеством; Mental Ray – предлагает широкий спектр инструментов для создания реалистичных изображений и поддерживает множество форматов и стандартов [42].

Autodesk 3ds Max также предлагает множество дополнительных инструментов и плагинов, которые расширяют его возможности: симуляция частиц, позволяющая создавать эффекты, такие как дым, огонь и вода, которые добавляют динамику и реализм в сцены; текстурирование, включающее инструменты для создания и применения текстур и материалов к моделям, что позволяет добавлять детали и глубину моделям; скриптинг и автоматизация, заключающиеся в поддержке MaxScript и Python для усовершенствования задач и создания пользовательских инструментов [43].

Преимущества программы Autodesk 3ds Max:

- широкий инструментарий: предлагает обширный набор инструментов и функций для 3D-моделирования, текстурирования, анимации, визуализации и рендеринга;
- высокая производительность: отличается высокой производительностью и стабильностью, особенно при работе с крупными проектами;
- интегрированный рендер: имеет встроенный рендер-движок (Mental Ray, V-Ray, Arnold и др.), что упрощает и ускоряет процесс визуализации;
- расширяемость: обладает широким спектром плагинов и скриптов, которые используются для расширения ее функциональности;
- интеграция с другими приложениями: легко интегрируется с другими программами, такими как Adobe Creative Cloud, позволяя создавать комплексные мультимедийные проекты.

Недостатки Autodesk 3ds Max:

- высокая стоимость: является одним из самых дорогих программных продуктов в своем классе, что может быть барьером для начинающих или небольших студий;
- сложность освоения: имеет довольно сложный интерфейс и требует существенного времени на обучение и освоение всех ее функций;
- ограниченная поддержка некоторых платформ: в основном ориентирована на работу с

Windows, в то время как на macOS и Linux ее использование затруднено;

- высокие системные требования: для эффективной работы в 3ds Max требуется мощное аппаратное обеспечение, включая современный процессор, большой объем оперативной памяти и высокопроизводительную видеокарту;

- зависимость от лицензии: требует наличия действующей лицензии, что может создавать проблемы при переходе на другие рабочие места или при необходимости коллективной работы [44].

Autodesk Inventor – система трехмерного параметрического проектирования компании Autodesk, предназначенная для создания прототипов промышленных изделий. Инструменты этого программного обеспечения предоставляют инженеру-разработчику полный цикл проектирования и создания конструкторской документации [45].

Autodesk Inventor's API представлено на базе Microsoft технологии Automation. Эта технология позволяет обращаться к COM – объектам из интерпретаторов скриптовых языков. Первый способ разработки приложений для автоматизации проектирования представляет собой написание макросов в программной среде VBA. Они могут быть запущены только вручную непосредственно из Inventor. VBA применяется для оценки текущего состояния Inventor, например при отладке приложений, написанных на языках C# или VB.NET. Еще одним вариантом для работы с макросами является встроенная в Inventor среда iLogic. За разработку не надстроек, а отдельных Standalone EXE отвечает .NET Framework. Все преимущества данной платформы сохраняются и в отношении Inventor's API [46].

Преимущества программы Autodesk Inventor:

- интуитивный и удобный интерфейс, который легко осваивается даже начинающими пользователями;
- мощные инструменты для создания сложных 3D-моделей деталей, сборок и механизмов;
- широкие возможности визуализации и анимации, включая фотореалистичную визуализацию;
- интеграция с другими продуктами Autodesk, такими как AutoCAD, Fusion 360 и др.;
- поддержка многих форматов файлов, что облегчает обмен данными;
- наличие инструментов для инженерного анализа и проведения прочностных расчетов;
- возможность создания технической документации, такой как чертежи, спецификации и т. д.

Недостатки программы Autodesk Inventor:

- высокая стоимость лицензии, особенно для коммерческого использования;
- ограниченная функциональность в базовой версии, что требует покупки дополнительных модулей;

– требовательность к аппаратному обеспечению компьютера, особенно при работе со сложными моделями;

– отсутствие бесплатной версии для личного или некоммерческого использования;

– низкая кроссплатформенность: работает только на Windows, в то время как ряд конкурентов имеют версии под macOS и Linux [47].

В целом Autodesk Inventor является достаточно мощным и функциональным CAD-решением, особенно для инженеров, проектировщиков и производственных предприятий. Однако его использование требует значительных финансовых и временных инвестиций.

**Заключение.** Таким образом, в ходе исследовательской работы проведен комплексный анализ процесса создания виртуальных прототипов изделий мебели для дополненной реальности. Установлено, что для создания AR-проекта наиболее подходящими программами из перечисленных являются Autodesk Inventor и Autodesk 3Ds Max.

Autodesk Inventor – это программное обеспечение для трехмерного (3D) моделирования и проектирования, которое позволяет создавать и визуализировать сложные 3D-модели различных объектов и механизмов. Эта программа особенно полезна для разработки твердотельных 3D-моделей, которые могут быть впоследствии экспор-

тированы в Unity для использования в AR-приложении.

Autodesk 3ds Max – программное обеспечение для 3D-моделирования, анимации, визуализации и рендеринга. Оно предоставляет широкий спектр инструментов и функций для создания высококачественных 3D-моделей, анимаций и визуальных эффектов. 3ds Max особенно хорошо подходит для создания более сложных и детализированных 3D-моделей, которые могут быть затем импортированы в Unity для использования в AR-проекте.

Использование Autodesk Inventor для создания базовых 3D-моделей и Autodesk 3Ds Max для более сложных и детализированных объектов дает возможность построить комплексную и реалистичную 3D-среду, которую можно будет интегрировать в Unity для создания увлекательного AR-приложения.

Полученные результаты имеют практическую значимость для мебельной промышленности, заключающуюся в создании более эффективных и качественных AR-приложений для визуализации мебели в реальном пространстве, что позволяет совершенствовать процесс разработки, производства и продажи мебели, а также способствует улучшению взаимодействия между производителями и потребителями.

### Список литературы

1. Иммерсивные технологии (VR, MR, AR, 3D-интерактив, 3D mapping) // УГМК-Телеком. URL: <https://ut-b2b.ru/otraslevye-resheniya/tekhnologii/immersivnye-tekhnologii-vr-mr-ar-3d-interaktiv-3d-mapping/> (дата обращения: 15.04.2025).
2. VR в промышленности // Хабр. URL: <https://habr.com/ru/post/509374> (дата обращения: 15.04.2025).
3. Чуйков А. С., Куневич В. О., Игнатович Л. В. Особенности иммерсивных технологий, применяемых при проектировании мебели // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 1 (252). С. 174–180.
4. Барташевич А. А., Трофимов С. П. Конструирование мебели. Минск: Соврем. шк., 2006. 336 с.
5. Барташевич А. А., Гайдук С. С. Конструирование изделий из древесины. Минск: БГТУ, 2016. 145 с.
6. Чуйков А. С. Моделирование объектов дизайна. Минск: БГТУ, 2019. 94 с.
7. Gibson I., Rosen D., Stucker B. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. New York: Springer, 2015. 510 p.
8. Horvath J. 3D Printed Science Projects: Ideas for Your Classroom, Science Fair, or Home. New York: Springer Science and Business Media, 2016. 213 p.
9. Foster Sh., Halbstein D. Integrating 3D Modeling, Photogrammetry and Design. London: Springer-Verlag, 2014. 104 p.
10. Van den Berg B., van den Hof S., Kosta E. 3D Printing. Washington DC: T. M. C. Asser Press, 2016. 212 p.
11. Horvath J., Cameron R. Mastering 3D Printing. Pasadena: Apress, 2020. 347 p.
12. AR, VR и MR технологии. Что это и как применять? // Helmeton. URL: <https://helmeton.ru/blog/razlichiya-i-sfery-primeneniya-ar-vr-mr/> (дата обращения: 14.04.2025).
13. Куда нас погружают иммерсивные технологии // Хабр. URL: <https://habr.com/ru/company/vtb/blog/463707/> (дата обращения: 14.04.2025).
14. Чуйков А. С., Тулейко В. В., Игнатович Л. В. Использование аддитивных технологий для производства декоративных элементов мебели // Технология и техника лесной промышленности: материалы 85-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 3 февр. 2021 г. Минск, 2021. С. 116–117.
15. Макеффри М. Unreal Engine VR для разработчиков. М.: Эксмо, 2019. 256 с.

16. Виртуальные прототипы // Wikipedia. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual\\_prototyping/](https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_prototyping/) (дата обращения: 15.04.2025).
17. Чуйков А. С., Игнатович Л. В. Особенности проектирования трехмерных моделей и конструкций декоративных элементов мебели и их изготовления // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 156–161.
18. Чуйков А. С., Утгоф С. С. Технология виртуальной и дополненной реальности для пространственного представления и обеспечения конкурентоспособности продукции деревообрабатывающих предприятий // Строительство: технологии и оборудование: ярмарка инновационных разработок, Минск, 18 марта 2021 г. Минск, 2021. С. 12–13.
19. Шэннон Т. Unreal Engine 4 для дизайнера и визуализации. М.: Бомбора, 2021. 363 с.
20. Архитектурная визуализация в Unreal Engine 4 // Habr. URL: <https://habr.com/ru/post/253503/> (дата обращения: 15.04.2025).
21. Гайд: создание мастер-материала в Unreal Engine // XYZ Media. М., 2020. URL: <https://media-xyz.com/ru/articles/1258-gaid-sozdanie-master-materiala-v-unreal-engin> (дата обращения: 15.04.2025).
22. Лоспинозо Д. С++ для профи. СПб.: Питер, 2021. 816 с.
23. Проектирование мягкой мебели // Proekt-sam. URL: <https://proekt-sam.ru/proektmebel/proektirovanie-i-konstruirovanie-myagkoj-mebeli.html> (дата обращения: 15.04.2025).
24. 9 приложений для проектирования мебели // All in one person. URL: <https://blog.themarfa.name/9-prilozhenii-dlia-proektirovaniia-miebieli/> (дата обращения: 15.04.2025).
25. Эргономические требования к изделиям для сидения и лежания // Studwood. URL: [https://studwood.net/2124268/товарovedenie/ergonomicheskie\\_trebovaniya\\_izdeliyam\\_sideniya\\_lezhaniya](https://studwood.net/2124268/товарovedenie/ergonomicheskie_trebovaniya_izdeliyam_sideniya_lezhaniya) (дата обращения: 15.04.2025).
26. Что такое эргономика мебели // ДомДворДороги. URL: <https://domdvordorogi.ru/chto-takoe-ergonomika-mebeli/> (дата обращения: 15.04.2025).
27. Программа для создания эскизов мебели: 9 приложений для проектирования мебели // ДК кафе. URL: <https://dk-nn.ru/raznoe/programma-dlya-sozdaniya-eskizov-mebeli-9-prilozhenij-dlya-proektirovaniya-mebeli.html> (дата обращения: 14.04.2025).
28. Новые технологии стимулируют рынок предметов интерьера // ChinaВЭД. URL: <https://chinaved.com/new-technologies-boost-house-decoration-market> (дата обращения: 13.04.2025).
29. Программа для проектирования мягкой мебели – специализированный программный комплекс АССОЛЬ // Центр «АССОЛЬ – Прикладные Компьютерные Технологии». URL: <https://assol.org/tpost/6revs1hdh1-programma-dlya-proektirovaniya-myagkoi-m> (дата обращения: 14.04.2025).
30. Программа для конструирования чехлов для мебели. Лучшие программы для проектирования мебели // Stroj dizain. URL: <https://strojdizain.ru/programma-dlya-konstruirovanie-chehlov-dlya-mebeli-luchshie/> (дата обращения: 14.04.2025).
31. Текстуры // Blend4web. URL: <https://www.blend4web.com/doc/ru/textures.html> (дата обращения: 24.03.2025).
32. Серова М. С. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн. М.: Солон-пресс, 2020. 272 с.
33. Безверхова Л. П., Малков А. В. Использование программы «Blender 3D» в образовательном процессе // Технологическое образование и устойчивое развитие региона. 2014. № 1 (11). С. 111–115.
34. Клыкков А. И., Фролова Н. А. Моделирование участка микроциркуляторного русла в 3D-редакторе Blender 2.49B // Наука о человеке: гуманитарные исследования. 2010. № 5. С. 237–240.
35. Кириллова Т. И. Компьютерная графика AutoCAD 2013, 2014: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2016. 156 с.
36. AutoCad // Autodesk. URL: <https://www.autodesk.com/> (дата обращения: 15.04.2025).
37. Шаакбаров Б. Р., Махаматова З. К. О возможностях SketchUp – программы трехмерного моделирования для архитекторов // Молодой инженер – основа научно-технического прогресса. 2015. С. 401–404.
38. Самарина А. Е. Использование программы для 3d-моделирования SketchUp в обучении студентов // Системы компьютерной математики и их приложения. 2014. № 15. С. 274–276.
39. Меньщиков К. А., Тетюшева С. Г. Обучение 3d-дизайну в программном продукте SketchUp // Актуальные проблемы обучения математике, физике и информатике в вузе и школе, 2017. С. 125–128.
40. Кончаков Р. Б., Сидляр М. Ю. Учебно-методическое пособие «3D-моделирование средствами Google SketchUp в прикладных и гуманитарных исследованиях» // Информационный бюллетень Ассоциации «История и компьютер», Москва – Звенигород, 3–5 окт. 2014 г. М., 2014. Вып. 42. С. 190–191.
41. 3dsmax-book // Интерактивный самоучитель 3dsmax-book.ru. URL: <https://3dsmax-book.ru/index.php> (дата обращения: 24.03.2025).

42. 3D Studio MAX: первые шаги. Урок 14. Камеры в сцене // Компьютер-пресс. URL: <http://surl.li/dalju> (дата обращения: 24.03.2025).
43. 3Ds max. Основы. Как и с чего начать? // Хабр. URL: <https://habr.com/ru/post/326532/> (дата обращения: 24.03.2025).
44. 3ds Max: мощный инструмент для профессионалов // Skypro wiki. URL: <https://sky.pro/wiki/digital-art/3ds-max-moshnyj-instrument-dlya-professionalov/> (дата обращения 16.04.2025).
45. Герасимова М. А. Обзор системы автоматизированного проектирования Autodesk Inventor // Молодежь и наука: материалы междунар. науч.-практ. конф. старшеклассников, студентов и аспирантов, Н. Тагил, 29 мая 2020 г. Н. Тагил, 2020. С. 300–304.
46. Бирюков С. С. Современные тенденции и стандарты в области разработки САПР // Проблемы и перспективы студенческой науки. 2017. № 2 (2). С. 9–10.
47. Обуховец В. А. САПР как инструмент освоения высокотехнологичных дисциплин // Высшее образование в России. 2014. № 5. С. 80–86.

### References

1. Immersive technologies (VR, MR, AR, 3D interactive, 3D mapping). Available at: <https://ut-b2b.ru/otraslevye-resheniya/tehnologii/immersivnye-tehnologii-vr-mr-ar-3d-interaktiv-3d-mapping/> (accessed 15.04.2025).
2. VR in industry. Available at: <https://habr.com/ru/post/509374> (accessed 15.04.2025) (In Russian).
3. Chuikov A. S., Kunevich V. O., Ignatovich L. V. Features of immersive technologies applied in furniture design. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources], 2022, no. 1 (252), pp. 174–180 (In Russian).
4. Bartashevich A. A., Trofimov S. P. *Konstruirovaniye mebeli* [Furniture design]. Minsk, Sovremennaya shkola Publ., 2006. 336 p. (In Russian).
5. Bartashevich A. A., Hayduk S. S. *Konstruirovaniye izdeliy iz drevesiny* [Construction of wood products]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 145 p. (In Russian).
6. Chuikov A. S. *Modelirovaniye ob'yektov dizayna* [Design objects modeling processes]. Minsk, BGTU Publ., 2019. 94 p. (In Russian).
7. Gibson I., Rosen D., Stucker B. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. New York, Springer Publ., 2015. 510 p.
8. Horvath J. 3D Printed Science Projects: Ideas for Your Classroom, Science Fair, or Home. New York, Springer Science and Business Media Publ., 2016. 213 p.
9. Foster Sh., Halbstein D. Integrating 3D Modeling, Photogrammetry and Design. London, SpringerVerlag Publ., 2014. 104 p.
10. Van den Berg B., van den Hof S., Kosta E. 3D Printing. Washington DC, T. M. C. Asser Press Publ., 2016. 212 p.
11. Horvath J., Cameron R. Mastering 3D Printing. Pasadena, Apress Publ., 2020. 347 p.
12. AR, VR and MR technologies. What is it and how to apply it? Available at: <https://helmeton.ru/blog/razlichiya-i-sfery-primeneniya-ar-vr-mr/> (accessed 14.04.2025) (In Russian).
13. Where immersive technologies are taking us. Available at: <https://habr.com/ru/company/vtb/blog/463707/> (accessed 14.04.2025) (In Russian).
14. Chuikov A. S., Tuleyko V. V., Ignatovich L. V. The use of additive technologies for the production of decorative elements of furniture. *Tekhnologiya i tekhnika lesnoy promyshlennosti: materialy 85-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Technology and Engineering of Forest Industry: materials of the 85th Scientific and Technical Conference of the teaching staff, research workers and postgraduate students (with international participation)]. Minsk, 2021, pp. 116–117 (In Russian).
15. Makeffrey M. *Unreal Engine VR dlya razrabotchikov* [Unreal Engine VR for Developers]. Moscow, Eksmo Publ., 2019. 256 p. (In Russian).
16. What are Virtual Prototypes. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual\\_prototyping/](https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_prototyping/) (accessed 15.04.2025) (In Russian).
17. Chuikov A. S., Ignatovich L. V. Features of designing three-dimensional models and structures of decorative furniture elements and their manufacturing. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2021, no. 1 (240), pp. 156–161 (In Russian).
18. Chuikov A. S., Utgof S. S. Virtual and augmented reality technology for spatial representation and ensuring the competitiveness of woodworking enterprises' products. *Stroitel'stvo: tekhnologii i oborudovaniye: yarmarka innovatsionnykh razrabotok* [Construction: technologies and equipment: fair of innovative developments.]. Minsk, 2021, pp. 12–13 (In Russian).

19. Shennon T. *Unreal Engine 4 dlya dizayna i vizualizatsii* [Unreal Engine 4 for Design and Rendering]. Moscow, Bombora Publ., 2021. 363 p. (In Russian).
20. Architectural rendering in Unreal Engine 4. Available at: <https://habr.com/ru/post/253503/> (accessed 15.04.2025) (In Russian).
21. Guide: creating master material in the Unreal Engine. Available at: <https://media-xyz.com/ru/articles/1258-gaid-sozdanie-master-materiala-v-unreal-engin> (accessed 15.04.2025) (In Russian).
22. Lospinozo D. *C++ dlya profi* [C++ for the pros]. St. Petersburg, Piter Publ., 2021. 816 p. (In Russian).
23. Upholstered furniture design. Available at: <https://proekt-sam.ru/proektmebel/proektirovanie-i-konstruirovaniye-myagkoj-mebeli.html> (accessed 15.04.2025) (In Russian).
24. 9 applications for furniture design. Available at: <https://blog.themarfa.name/9-prilozhienii-dlia-proektirovaniia-miebeli/> (accessed 15.04.2025) (In Russian).
25. Ergonomic requirements for products for sitting and lying down. Available at: [https://studwood.net/2124268/tovarovedenie/ergonomicheskie\\_trebovaniya\\_izdeliyam\\_sideniya\\_lezhaniya](https://studwood.net/2124268/tovarovedenie/ergonomicheskie_trebovaniya_izdeliyam_sideniya_lezhaniya) (accessed 15.04.2025) (In Russian).
26. What is furniture ergonomics? Available at: <https://domdvordorogi.ru/chto-takoe-ergonomika-mebeli/> (accessed 15.04.2025) (In Russian).
27. A program for creating furniture sketches: 9 applications for furniture design. Available at: <https://dk-nn.ru/raznoe/programma-dlya-sozdaniya-eskizov-mebeli-9-prilozhenij-dlya-proektirovaniya-mebeli.html> (accessed 14.04.2025) (In Russian).
28. New technologies stimulate the market of interior items. Available at: <https://chinaved.com/new-technologies-boost-house-decoration-market> (accessed 13.04.2025) (In Russian).
29. The program for the design of upholstered furniture is a specialized software package ASSOL. Available at: <https://assol.org/tpost/6revs1hdh1-programma-dlya-proektirovaniya-myagkoi-m> (accessed 14.04.2025) (In Russian).
30. A program for designing covers for furniture. The best programs for furniture design. Available at: <https://strojdizain.ru/programma-dlya-konstruirovaniya-chehlov-dlya-mebeli-luchshie/> (accessed 14.04.2025) (In Russian).
31. Textures. Available at: <https://www.blend4web.com/doc/ru/textures.html> (accessed 24.03.2025) (In Russian).
32. Serova M. S. *Uchebnik-samouchitel' po graficheskomu redaktoru Blender 3d. Modelirovaniye i dizayn* [Self-study guide to the Blender 3D graphic editor. Modeling and design], Moscow, Solon-press Publ., 2020. 272 p. (In Russian).
33. Bezverkhova L. P., Malkov A. V. Using the program “Blender 3D” in the educational process. *Technologicheskoye obrazovaniye ustoychivoye razvitiye regiona* [Technological education and sustainable development of the region], 2014, no. 1 (11), pp. 111–115 (In Russian).
34. Klykov A. I., Frolova N. A. Modeling of a section of the microcirculatory bed in 3D Editor Blender 2.49B. *Nauka o cheloveke: gumanitarnyye issledovaniya* [Science of Man: Humanitarian Research], 2010, no. 5, pp. 237–240 (In Russian).
35. Kirillova T. I. *Komp'yuternaya grafika AutoCAD 2013, 2014: uchebnoye posobiye* [Computer graphics AutoCAD 2013, 2014]. Ekaterinburg, Publishing house of the Ural University Publ., 2016. 156 p. (In Russian).
36. AutoCad. Available at: <https://www.autodesk.com/> (accessed 15.04.2025) (In Russian).
37. Shaakbarova B. R., Makhamatova Z. K. On the capabilities of SketchUp – a three-dimensional modeling program for architects. *Molodoy inzhener – osnova nauchno-tekhnicheskogo progressa* [Young engineer – the basis of scientific and technological progress], 2015, pp. 401–404 (In Russian).
38. Samarina A. E. Using the 3D modeling program SketchUp in teaching students. *Sistemy komp'yuternoy matematiki i ikh prilozheniya* [Computer Mathematics Systems and Their Applications], 2014, no. 15, pp. 274–276 (In Russian).
39. Menshchikov K. A., Tetyusheva S. G. Teaching 3D design in SketchUp software. *Aktual'nyye problemy obucheniya matematike, fizike i informatike v vuze i shkole* [Actual problems of teaching mathematics, physics and computer science in universities and schools], 2017, pp. 125–128 (In Russian).
40. Konchakov R. B., Sidlyar M. Yu. Study guide “3D modeling using Google SketchUp in applied and humanitarian research”. *Informatsionnyy byulleten' Assotsiatsii “Istoriya i komp'yuter”* [Information bulletin of the Association “History and computer”]. Moscow, 2014, issue 42, pp. 190–191 (In Russian).
41. 3dsmax-book. Available at: <https://3dsmax-book.ru/index.php> (accessed 24.03.2025) (In Russian).
42. 3D Studio MAX: the first steps. Lesson 14. Cameras in the scene. Available at: <http://surl.li/dalju> (accessed 24.03.2025) (In Russian).

43. 3Ds max. Basics. How and where to start. Available at: <https://habr.com/ru/post/326532/> (accessed 24.03.2025) (In Russian).

44. 3ds Max: a powerful tool for professionals. Available at: <https://sky.pro/wiki/digital-art/3ds-max-moshnyj-instrument-dlya-professionalov/> (accessed 16.04.2025) (In Russian).

45. Gerasimova M. A. Review of the automated design system Autodesk Inventor. *Molodezh' i nauka: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii starsheklassnikov, studentov i aspirantov* [Youth and Science: materials of the international scientific and practical conference of high school students, students and graduate students], Nizhny Tagil, 2020, pp. 300–304 (In Russian).

46. Biryukov S. S. Modern trends and standards in the field of CAD development. *Problemy i perspektivy studencheskoy nauki* [Problems and prospects of student science], 2017, no. 2 (2), pp. 9–10 (In Russian).

47. Obukhovets V. A. CAD as a tool for the development of high-tech disciplines. *Vyssheye obrazovaniye v Rossii* [Higher education in Russia], 2014, no. 5, pp. 80–86 (In Russian).

#### **Информация об авторах**

**Латышевич Ирина Александровна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств, экодомостроения, дизайна мебели и интерьера. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [irinalatyshevitch@gmail.com](mailto:irinalatyshevitch@gmail.com)

**Останин Вадим Александрович** – стажер младшего научного сотрудника кафедры технологии деревообрабатывающих производств, экодомостроения, дизайна мебели и интерьера. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [vadim.ostanin777@gmail.com](mailto:vadim.ostanin777@gmail.com)

#### **Information about the authors**

**Latyshevich Iryna Alexandrovna** – PhD (Engineering), Assistant Professor, Associate Professor, the Department of Woodworking Technology, Eco-Housing, Furniture and Interior Design. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [irinalatyshevitch@gmail.com](mailto:irinalatyshevitch@gmail.com)

**Ostanin Vadim Aleksandrovich** – trainee Junior Researcher, the Department of Woodworking Technology, Eco-House Building, Furniture and Interior Design. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [vadim.ostanin777@gmail.com](mailto:vadim.ostanin777@gmail.com)

*Поступила 16.04.2025*