

Мир науки. Социология, филология, культурология <https://sfk-mn.ru>
World of Science. Series: Sociology, Philology, Cultural Studies

2023, Том 14, № 1 / 2023, Vol. 14, Iss. 1 <https://sfk-mn.ru/issue-1-2023.html>

URL статьи: <https://sfk-mn.ru/PDF/27KLSK123.pdf>

Дата публикации: 12.04.2023

Ссылка для цитирования этой статьи:

Чжан, С. Технологии создания и визуализации 3D-анимации / С. Чжан // Мир науки. Социология, филология, культурология. — 2023. — Т. 14. — № 1. — URL: <https://sfk-mn.ru/PDF/27KLSK123.pdf>

For citation:

Zhang X. Technologies of creation and visualization of 3D animation. *World of Science. Series: Sociology, Philology, Cultural Studies*. 2023; 14(1): 27KLSK123. Available at: <https://sfk-mn.ru/PDF/27KLSK123.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 008

Чжан Синьюй¹

Университет Саньмин, Саньмин, Китай
Преподаватель кафедры «Дизайна и архитектуры», лектор
ФГБОУ ВО «Краснодарский государственный институт культуры», Краснодар, Россия,
Аспирант
E-mail: 2215178687@qq.com

Технологии создания и визуализации 3D-анимации

Аннотация. В последние годы в области 3D-анимации наблюдается значительный рост включения инновационных подходов, что обусловлено развитием компьютерных технологий и увеличением спроса на иммерсивный и интерактивный контент. В данной статье будут рассмотрены новейшие технологии проектирования и визуализации 3D-анимации, а также их текущее применение и будущий потенциал. На основе использования методов анализа, индукции, обобщения, автор предпринимает попытку исследовать большой пласт информации, посвященной истокам 3D-анимации, а также рассмотреть технологические инновации в области 3D-моделирования.

Обращаясь к работам таких исследователей, как Д. Берген, Д. Белчер, М. Бессетт, Т. Сито, Х. Чжан, Ф. Томас, О. Джонстон и др., автор делает поэтапный разбор современного состояния технологий проектирования и визуализации 3D-анимации, включая популярные программные приложения и методы, используемые в данной отрасли. Подробному рассмотрению подлежит тема ключевых областей дизайна и визуализации 3D-анимации, включая такие технологии, как «моделирование», «текстурирование», «освещение», «риггинг» и «рендеринг». Помимо описания алгоритма создания 3D-анимации, автор считает важным подчеркнуть плюсы использования новейших технологий создания и визуализации 3D-анимации в различных областях (кино, реклама, видео игры, архитектура, образование).

Отдельная часть статьи посвящена изучению таких тенденций и технологий, как виртуальная реальность (VR), использование искусственного интеллекта (AI), машинного обучения (ML) и облачных технологий, которые облегчили удаленное сотрудничество команд и доступ к мощным вычислительным ресурсам без необходимости использования дорогостоящего оборудования. Итоговым пунктом в статье рассматривается будущее дизайна

¹ zhangxinyu190685 — WeChat.

и визуализации 3D-анимации, выделяются новые технологии и потенциальные возможности 3D-анимации.

Ключевые слова: 3D-анимация; алгоритм; технология; инновации; моделирование; текстурирование; риггинг; рендеринг

3D-анимация — это увлекательная область знаний, которая в последние годы переживает колоссальный всплеск роста, внедрения новейших техник и инноваций. От скромного начала в качестве нишевой технологии, предназначенной для самых передовых и хорошо финансируемых анимационных студий, 3D-анимация сегодня стала повсеместным инструментом, используемым в широком спектре отраслей и областей применения: от развлечений и рекламы до научной визуализации и дизайна продукции. По своей сути 3D-анимация является мощным средством визуальной коммуникации, которое позволяет дизайнерам и аниматорам воплощать свои идеи в жизнь увлекательным, захватывающим и очень реалистичным способом. Независимо от того, создается ли художественный фильм, видеоигра или реклама продукта, умение разработать убедительную 3D-анимацию может впоследствии сыграть решающую роль в привлечении внимания аудитории и эффективной передаче сообщения.

Цель данного исследования — изучить технологии и методы, используемые для создания и визуализации 3D-анимации, а также привести примеры их применения в различных областях. Автор ставит перед собой задачу представить обзор современной литературы по теме технологий создания и визуализации 3D-анимации и их практической реализации. Исследование также призвано продемонстрировать научную новизну и значимость исследования путем демонстрации последних разработок и тенденций в области 3D-анимации, а также их потенциала для повышения качества и эффективности в работе аниматоров. Ожидается, что результаты статьи внесут вклад в развитие знаний в области проектирования и визуализации 3D-анимации и предоставят полезную информацию для специалистов в области анимационного дизайна и смежных дисциплин.

Для реализации вышеописанных целей в области использования возможностей, предоставляемых 3D-анимацией, необходимо глубокое понимание технологий и методов, лежащих в основе создания и визуализации 3D-анимации. В данной связи мы обращались к работам следующих авторов: Ф. Томас и О. Джонстон, чей труд «Иллюзия жизни: Анимация Disney» раскрывает важнейшие принципы создания анимационных персонажей [12]; Роджер Кинг, исследование которого представляет собой практическое руководство по использованию Maya (наиболее популярной программы для 3D-анимации). Работа Р. Кинга охватывает основы моделирования, риггинга, анимации и рендеринга, что, в принципе, является основой для понимания алгоритмов создания 3D-анимации [8]. Мы также обращались к трудам исследователя и аниматора Д. Бирна, чья работа охватывает такие темы, как теория цвета, техника теней и отражений, композитинг, и предназначена для пользователей среднего и продвинутого уровня. Помимо этого, мы обращались к исследованиям А. Лагае, С. Лефевра, Р. Кука, Т. Дероза, где представлен обзор шумовых функций и их применения в 3D анимации [1], работам Д. Бергена, Д. Белчера, М. Бессетта, Т. Сито, Х. Чжана, Р. Цзена, при анализе трудов которых нам удалось рассмотреть и изучить некоторые ключевые области дизайна и визуализации 3D-анимации.

Мы также подчеркиваем, что исследование строилось с опорой на различные методы исследования, среди которых метод анализа научных работ, изучение литературы по теме исследования; метод индукции, на основе которого мы смогли выявить тенденции и перспективы развития технологий в области 3D анимации; метод обобщения, благодаря

которому были сформулированы и теоретически обоснованы новые концепции и подходы в развитии 3D анимации. Выстраивая свое исследование на основе использования вышеописанных методов исследования, нам удалось рассмотреть некоторые из наиболее важных технологий и инструментов, используемых при создании 3D-анимации. Источниковая база исследования помогла нам сделать вывод о необходимости поэтапной разработки сценария, создания концептуального дизайна, моделирования объектов и персонажей, текстурирования, риггинга, анимации и рендеринга. Таким образом, мы пришли к заключению, что каждый этап важен для достижения качественного результата и должен быть выполнен с максимальной тщательностью и профессионализмом.

Переходя к основной части статьи, мы отмечаем, что первым шагом в создании 3D-анимации является создание концепт-арта и раскадровки, которые описывают основную концепцию, персонажей и сюжетную линию анимации [2, с. 19]. На наш взгляд, наиболее важным этапом является разработка сценария, в ходе которого необходимо определить концепцию будущей анимации, создать сюжет и описание персонажей. Это важный шаг, который определяет направление работы и влияет на результат.

Затем следует создание концептуального дизайна, который включает в себя разработку макетов и скетчей, а также исследование цветовых решений и общего стиля [2, с. 18–21]. После чего начинается создание моделей объектов и персонажей — моделирование, которое является одной из наиболее фундаментальных технологий, используемых при создании 3D-анимации, и подразумевает создание цифрового представления физического объекта или персонажа. Этот процесс обычно включает использование специализированного программного обеспечения, такого как «Maya», «Blender», «3D Max» или «Autodesk». Внедрение использования программных обеспечений необходимо для создания 3D-сетки, которая определяет форму, текстуру и другие физические свойства объекта. Для создания невероятно детализированных и реалистичных моделей можно использовать такие передовые методы моделирования, как подразделение поверхности и процедурное моделирование.

После того как 3D-модели созданы, их необходимо смонтировать, чтобы обеспечить движение и анимацию. Данный этап анимирования называется «риггинг» и включает в себя добавление скелета к модели, а также создание элементов управления, которые позволяют аниматору манипулировать моделью [3, с. 81]. Этот этап обычно включает в себя создание ряда шарниров и элементов управления, которые можно использовать для манипулирования положением, вращением и масштабом модели. Продвинутые техники «риггинга», такие как обратная «кинематика» и «риггинг лица», могут быть использованы для создания невероятно выразительных и реалистичных моделей персонажей.

Далее, когда модели смонтированы, аниматор может приступить непосредственно к созданию анимации. Для этого создаются ключевые кадры, которые определяют движение персонажей и объектов во времени. Анимация дорабатывается путем добавления промежуточных кадров и регулировки времени, а также с добавлением интервалов для создания плавного и реалистичного движения [10, с. 2]. В этой связи освещение является важнейшим аспектом создания 3D-анимации, поскольку с его помощью можно создать нужное настроение или атмосферу в сцене. Передовые техники освещения, такие как «глобальное освещение» и «освещение HDR», могут быть использованы для создания невероятно реалистичных световых эффектов, которые имитируют поведение света в реальном мире. Следует отметить, что освещением можно управлять с помощью специализированного программного обеспечения, такого как «RenderMan» от «Pixar» или «Cycles» с открытым исходным кодом.

По итогу, после настройки освещения 3D-модели текстурируются и затемняются для создания реалистичного вида. Это включает в себя добавление детальных текстур и материалов к моделям и настройку их свойств, таких как отражательная способность, прозрачность и шероховатость. Процесс текстурирования заключается в добавлении на модели текстур, что создает иллюзию материалов и поверхностей. Следует отметить, что текстурирование в своей сути подразумевает нанесение изображений или узоров на поверхность модели и может быть выполнено с помощью различных методов, таких как «UV-маппинг», «рисование текстур» и «процедурное текстурирование» [10, с. 2–3]. Современные инструменты, такие как «Substance Painter» и «Mari», позволяют аниматорам создавать очень детализированные и реалистичные текстуры, которые можно использовать для оживления персонажей и окружения.

В заключение работы над анимационным проектом после создания 3D-анимации ее необходимо отрисовать, чтобы получить конечное изображение или видео, для чего применяется техника рендеринга. Рендеринг включает использование специализированных программных обеспечений, таких как «Arnold» или «V-Ray», созданных для обработки 3D-данных и создания конечного изображения или последовательности изображений. Передовые методы рендеринга, такие как «трассировка лучей» и «объемный рендеринг», могут использоваться для создания невероятно детализированных и реалистичных изображений, превосходящих по качеству реальные фотографии [10, с. 3].

Здесь мы считаем важным подчеркнуть, что после рендеринга анимации может потребоваться ее редактирование, цветокоррекция, добавление звуковых эффектов и музыки. Это делается на этапе постпроизводства с помощью таких программ, как «Adobe Premiere» или «Final Cut Pro». Хочется заметить, что современная практика показывает успешность и перспективность такого алгоритма по созданию анимации. Благодаря созданию изображений вышеописанным способом 3D-анимация смогла произвести революцию в кино и телеиндустрии, предоставив новые творческие возможности для визуального повествования. Разработка алгоритмов создания 3D-анимации позволила кинематографистам точно и выверено создавать и анимировать персонажей с большей детализацией и реалистичностью, нежели чем в традиционной 2D-анимации. Помимо прочего, благодаря разработкам в области 3D сегодня аниматоры способны более успешно контролировать движения и выражения персонажей (среди ярких примеров — персонажи мультипликационных фильмов компании «Pixar» и «DreamWorks»). Также следует отметить, что плюс использования алгоритма создания 3D-анимации заключается в том, что он помогает создавать сложные визуальные эффекты, которые трудно или невозможно отобразить с помощью классической отрисовки персонажей.

Анализируя плюсы использования алгоритмов создания 3D-анимации, можно сказать, что именно 3D-анимация выступила в качестве наиболее оптимального варианта для создания визуально интересного и привлекающего внимание контента. С развитием технологий аниматоры получили возможность использовать 3D-анимацию различными способами: в рекламе, видеоиграх, архитектуре и образовании, потому как именно алгоритм создания 3D-анимации позволяет отображать высокодетализированные и реалистичные изображения продуктов и окружающей среды. В рекламе данная опция позволяет демонстрировать продукцию в более увлекательной и интерактивной форме, давая потребителям лучшее представление о свойствах и преимуществах продукта. Кроме того, 3D-анимация может быть использована для создания уникальных и запоминающихся персонажей, которые зачастую становятся знаковыми послами бренда. Эти персонажи могут быть разработаны таким образом, чтобы понравиться конкретным демографическим группам, что поможет повысить узнаваемость и лояльность к бренду. Еще одним преимуществом использования 3D-анимации в рекламе является экономный расход средств, при котором создаются фантастические или

сюрреалистические среды, способные поразить воображение зрителя и произвести неизгладимое впечатление.

Здесь же хочется отметить, что за последние несколько десятилетий алгоритм создания 3D-анимации стал активно применяться в видеоиграх, позволив разработчикам игр создавать более захватывающие и визуально ошеломляющие игровые среды. Сегодня 3D-анимация играет решающую роль в индустрии видеоигр, где разрабатываются все более сложные игровые движки и инструменты для создания и анимации 3D-моделей. Технология 3D-анимации используется для создания реалистичных персонажей в видеоиграх, что включает вышеописанный процесс по визуализации, моделированию, риггингу и анимированию персонажей. Данный процесс дополняется дизайном окружения: где 3D-анимация используется в качестве основного инструмента для создания реалистичного окружения в видеоиграх. Сюда входит создание ландшафтов, зданий и других объектов, населяющих игровой мир.

Помимо этого, 3D-анимация используется для создания визуальных эффектов в видеоиграх: взрывы, замедления действия, прыжки и другие специальные эффекты, которые улучшают игровой процесс. Кроме того, 3D-анимация важна при создании кат-сцен — предварительно смонтированной анимации, которая воспроизводится в определенных частях видеоигры. 3D-анимация, в данной связи, помогает рассказать сюжет игры и создать более интересный и масштабный игровой мир для игрока. Также 3D-анимация используется для создания интерактивных пользовательских интерфейсов в видеоиграх (создание 3D-меню, кнопок и других элементов, с которыми игроки могут взаимодействовать).

Однако нельзя отрицать факт минусов, связанных с представленным нами алгоритмом по созданию 3D-анимации. Использование 3D-анимации в видеоиграх приводит к необходимости обеспечения аниматоров мощным аппаратным и программным обеспечением для запуска сложных игровых движков и создания высококачественной 3D-графики. Кроме того, создание реалистичных и детализированных 3D-моделей и окружения может быть трудоемким и дорогостоящим процессом, требующим помощи квалифицированных художников и дизайнеров. Необходимость в таком объеме человеческих и технических ресурсов приводит к тому, что на данном этапе развития игровой индустрии создание игр является серьезным и затратным мероприятием, которое занимает большое количество времени.

Но, оставляя область видеоигр, несколько слов следует добавить о важной роли применения алгоритмов по созданию 3D-анимации в области образования, где данная область нашла множество практических применений. Обеспечивая интерактивный и визуально стимулирующий опыт обучения, 3D-анимация зарекомендовала себя как эффективный инструмент для повышения вовлеченности, мотивации и закрепления знаний учащихся [7, с. 21]. Одно из наиболее распространенных применений 3D-анимации в образовании — создание виртуальных симуляций и моделей. Данные симуляции позволяют студентам изучать и взаимодействовать со сложными концепциями и системами, которые в противном случае было бы трудно или невозможно наблюдать в реальном мире. Например, студенты-медики могут использовать алгоритмы создания 3D-анимации для более динамичного и увлекательного изучения анатомии человека, а студенты-физики могут визуализировать сложные физические явления, проводить эксперименты, которые невозможны во внешней среде.

Помимо этого, разработки 3D-анимации могут упростить образовательный процесс, благодаря созданию образовательных игр и интерактивного мультимедийного образовательного контента [5, с. 723]. Ресурсы такого типа могут использоваться для представления сложных концепций в более доступном формате и могут быть адаптированы к

различным стилям и предпочтениям обучения. Например, образовательные игры, в которых используется 3D-анимация, могут предоставить учащимся веселый интерактивный способ практиковаться и закреплять знания по различным областям наук и т. д.

И поскольку технологии продолжают развиваться, сегодня популяризируется большое количество инновационных и эффективных способов применения разработок в области 3D-анимации в абсолютно разных сферах. Примечательно то, что алгоритм по созданию 3D-анимации может быть использован в области архитектуры для создания виртуальных туров по зданиям или помещениям до их строительства (архитектурная визуализация). Такой подход помогает архитекторам увидеть и внести изменения в проект до начала строительных работ. В дополнение следует сказать, что 3D-анимация также может использоваться при создании динамичной и увлекательной моушн-графики для телевизионных рекламных роликов, вступлений к шоу и других визуальных элементов — этот вид анимации часто можно увидеть в новостных передачах и спортивных репортажах.

Все это говорит о том, что работа над созданием 3D-анимации в современном мире необходима. Рост популярности 3D-анимации в последние годы можно объяснить, в первую очередь, развитием технологий и растущим спросом на увлекательный и интерактивный контент. Эта тенденция отражается в том, что 3D-анимация стала неотъемлемой частью современных средств массовой информации и развлечений. Более того, такой всплеск спроса на создание разработок в сфере 3D-анимации привел к появлению определенных намеченных тенденций в ее развитии, что свидетельствует о постоянном росте и эволюции этой области.

Обращая внимание на наиболее значимые тенденции, мы особенно выделяем следующие:

- Интеграция технологий виртуальной реальности (VR) и дополненной реальности (AR), где технология VR позволяет пользователям погрузиться в полностью интерактивную и трехмерную среду, а технология AR накладывает цифровую информацию на реальный мир. Сочетание этих технологий с 3D-анимацией привело к появлению новых возможностей для захватывающего повествования и интерактивного опыта, например, в области создания виртуальных экскурсий по историческим местам или симуляторов обучения сложным задачам [13, с. 27].

- Использование искусственного интеллекта (AI) и машинного обучения (ML) в 3D-анимации. Эти технологии могут использоваться для автоматизации различных задач, таких как риггинг и анимация персонажей, что позволяет значительно сократить время и усилия, необходимые для создания сложных анимационных продуктов [4, с. 565]. Кроме того, алгоритмы искусственного интеллекта и машинного обучения могут использоваться для анализа больших массивов анимационных данных, что позволяет аниматорам выявлять закономерности и повышать качество своей работы.

- Создание облачных технологий, которые также оказали значительное влияние на упрощение алгоритма по созданию 3D-анимации. Облачные решения для рендеринга и хранения данных облегчили удаленное сотрудничество команд и доступ к мощным вычислительным ресурсам без необходимости использования дорогостоящего оборудования. Это привело к повышению эффективности и производительности, а также к возможности создавать контент более высокого качества за более короткий промежуток времени [4, с. 565].

В целом, интеграция технологий VR и AR, ИИ и ML, а также облачных технологий в разработке 3D-анимации привела к появлению новых опций для создания и интерактивного повествования, а также к повышению эффективности и производительности производственного процесса.

Опираясь на вышеописанное, в заключение следует отметить, что технология 3D-анимации прошла долгий путь с момента своего появления и произвела революцию в различных отраслях, таких как кино, телевидение, видеоигры, образование и т. д. С ростом спроса на высококачественный 3D-контент технология эволюционировала и стала включать в себя передовые инструменты и методы, которые позволяют более эффективно и реалистично создавать анимационный контент. В целом, будущее технологии 3D-анимации выглядит ярким и полным возможностей. По мере того, как в отрасль продолжают внедряться инновации, мы можем ожидать появления еще более совершенных инструментов и методов, способствующих созданию высококачественного 3D-контента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арес Лагэ, Сильвен Лефевр, Роб Кук, Тони Дерос, Джордж Дреттакис и др. Обзор процедурных шумовых функций. Форум компьютерной графики, 2010. 29(8), с. 2579–2600.
2. Белчер Дж. и Бессетт М. Преподаватели Массачусетского технологического института разделяют успех. Компьютерная графика ACM SIGGRAPH, 2001. 35(1). С. 18–21.
3. Бирн, Джереми. Цифровое освещение и визуализация. Новые всадники, 2013, 453 с.
4. Бурк Э., Дудек Г. Процедурное сопоставление и преобразование текстур. Форум компьютерной графики, 23(3), с. 461–468.
5. Хоффлер, Т.Н., и Лейтнер, Д. Учебная анимация в сравнении со статическими изображениями: метаанализ. Обучение и обучение, 2007. 17(6), с. 722–738.
6. Джинно ван ден Берген. Обнаружение столкновений в интерактивной 3D-среде. CRC Press, 2003. с. 277.
7. Керлоу И. Искусство трехмерной компьютерной анимации и эффектов, Wiley. 2009, с. 512.
8. Кинг, Р. 3D-анимация для новичков, использующих Maya. Чепмен и Холл / CRC, 2014.
9. Робертс С. Анимация персонажей в 3D: использование традиционных методов рисования для создания потрясающих CGI-анимаций. Focal Press, 2004, 368 с.
10. Ронг, Цзэн. Исследования по применению компьютерных цифровых анимационных технологий в кино и на телевидении. Journal of Physics, 2021. 1915(3), с. 1–6.
11. Сито, Т. Движущиеся инновации: история компьютерной анимации, MIT Press. 2013, с. 327.
12. Томас Ф. и Джонс О. Иллюзия жизни: анимация Диснея. Издания Диснея, 1997, 575 с.
13. Ван Ю. На основе применения 3Ds MAX в архитектурном визуальном дизайне. Журнал Северного университета Хэбэй (издание естественных наук), 6(1), с. 23–28.
14. Уильямс, Л. Лицевая анимация, управляемая перформансом. Материалы конференции GRAPH, 1990. 24(4), с. 235–242.
15. Уильямс, Ричард. Набор выживания аниматора. Штраус и Жиру, 2012, 392 с.
16. Чжан, Х. Исследование комбинации производства 3D-анимации и технологии виртуальной реальности. Искусствоведение и техника, 2013. 3, с. 102–103.

Zhang Xinyu

Sanming University, Sanming, China
Krasnodar State Institute of Culture, Krasnodar, Russia
E-mail: 2215178687@qq.com

Technologies of creation and visualization of 3D animation

Abstract. In recent years, the field of 3D animation has seen a significant increase in the inclusion of innovative approaches, which is due to the development of computer technology and the increasing demand for immersive and interactive content. This paper will discuss the latest 3D animation design and visualization technologies, as well as their current application and future potential. Based on the use of methods of analysis, induction, generalization, the author attempts to explore a large layer of information on the origins of 3D-animation, and consider technological innovations in the field of 3D-modeling.

Referring to the works of such researchers as: D. Bergen, D. Belcher, M. Bessette, T. Sito, H. Zhang, F. Thomas, O. Johnston, etc., the author makes a step-by-step analysis of the current state of 3D-animation design and visualization technologies, including popular software applications and methods used in this industry. Key areas of 3D animation design and visualization, including such technologies as "modeling", "texturing", "lighting", "rigging" and "rendering" are discussed in detail. In addition to describing the algorithm for creating 3D-animation, the author considers it important to emphasize the advantages of using the latest technologies to create and visualize 3D-animation in various fields (film, advertising, video games, architecture, education).

A separate part of the article is devoted to the study of such trends and technologies as virtual reality (VR), the use of artificial intelligence (AI), machine learning (ML) and cloud technologies that have facilitated remote team collaboration and access to powerful computing resources without the need for expensive hardware. As a final point, the paper looks at the future of 3D animation design and visualization, highlighting new technologies and the potential of 3D animation.

Keywords: 3D-animation; algorithm; technology; innovation; modeling; texturing; rigging; rendering

REFERENCES

1. Ares Lagae, Sylvain Lefebvre, Rob Cook, Tony DeRose, George Drettakis, et al. A Survey of Procedural Noise Functions. *Computer Graphics Forum*, 2010. 29(8), Pp. 2579–2600.
2. Belcher, J. and Bessette, M. MIT educators share success. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 2001. 35(1). Pp. 18–21.
3. Birn, Jeremy. *Digital Lighting and Rendering*. New Riders, 2013, 453 p.
4. Bourque E., Dudek G. Procedural texture matching and transformation. *Computer Graphics Forum*, 23(3), Pp. 461–468.
5. Hoffler, T.N., & Leutner, D. Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and instruction*, 2007. 17(6), Pp. 722–738.
6. Gino van den Bergen. *Collision Detection in Interactive 3D Environments*. CRC Press, 2003. p. 277.
7. Kerlow, I. *The Art of 3D Computer Animation and Effects*, Wiley. 2009, p. 512.

8. King, R. 3D Animation for the Raw Beginner Using Maya. Chapman and Hall / CRC, 2014.
9. Roberts, S. Character Animation in 3D: Use traditional drawing techniques to produce stunning CGI animations. Focal Press, 2004, 368 pages.
10. Rong, Zeng. Research on the Application of Computer Digital Animation Technology in Film and Television. Journal of Physics, 2021. 1915(3), Pp. 1–6.
11. Sito, T. Moving Innovation: A History of Computer Animation, MIT Press. 2013, p. 327.
12. Thomas F. & Jones, O. The Illusion of Life: Disney Animation. Disney Editions, 1997, 575 p.
13. Wang, Y. Based on the application of 3Ds MAX in architectural visual design. Journal of Hebei North University (Natural Science Edition), 6(1), Pp. 23–28.
14. Williams, L. Performance-driven facial animation. GRAPH Conference Proceedings, 1990. 24(4), Pp. 235–242.
15. Williams, Richard. The Animator's Survival Kit. Straus and Giroux, 2012, 392 p.
16. Zhang, X. Exploration of the combination of 3D animation production and virtual reality technology. Art Science and Technology, 2013. 3, Pp. 102–103.